image
not
available

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Physikalisches Wörterbuch

VIII. Band.

S.

Digitized by Google

Digitized by Google

Johann Samuel Traugott Gehler's

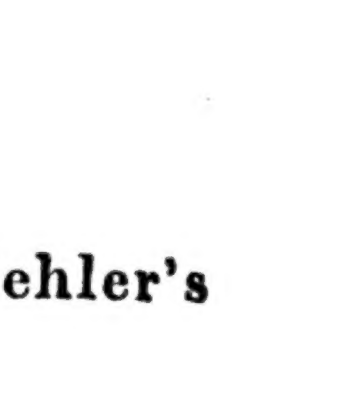
Physikalisches

Wörterbuch

neu bearbeitet

von

Gmelin. Horner. Littrow. Muncke. Pfaff.



Achter Band.

S.

Mit Kupfertafeln I bis XXIII.

Leipzig,
bei E. B. Schwickert.
1836.

Digitized by Google

Digitized by Google

S.

Säule.

Volta'sche oder Galvanische Batterie; *Pila electrica*; Pile électrique ou Voltaique; *Voltaic Pile*; Pila di Volta.

Wir haben oben[1] für den Artikel *elektrische Säule* uns eine in ein genaueres Detail eingehende Beschreibung der verschiedenen Formen und Einrichtungen, welche man der elektrischen Säule gegeben hat, so wie mehrerer mit derselben angestellter Versuche, die wir dort übergingen, da sie für die allgemeine Theorie weniger von Belang schienen, vorbehalten. Das Nachfolgende soll so viel als möglich diese Zusage erfüllen, wobei wir uns begreiflich nicht wie in einem Lehrbuche darauf einschränken können, dasjenige hervorzuheben, was als das Beste und am meisten Probehaltige sich nach einer Reihe von Versuchen ergeben hat, sondern auch historisch auf die Verdienste Rücksicht nehmen müssen, welche sich verschiedene Physiker in einer Reihenfolge theils um die Vervollkommnung dieses wichtigen physikalischen Apparats, theils um die Benutzung desselben zur Erweiterung unserer Naturerkenntnifs überhaupt, besonders aber im Gebiete der Chemie, endlich um die genauere Bestimmung der Wirkungsgesetze desselben erworben haben.

Um die Uebersicht der hierher gehörigen Thatsachen zu erleichtern, ist es am angemessensten, die drei Hauptclassen von elektrischen Säulen zu unterscheiden:

1) die *primäre*, welche selbst wieder zerfällt in
   a) die *hydroelektrische* oder die eigentliche *Volta'sche* Säule,
   b) die sogenannte *trockene* oder *Zamboni'sche* Säule;

1 *S. Galvanismus* Bd. IV. S. 826.

Digitized by Google

2) die *secundäre* oder abgeleitete, die sogenannte *Ladungssäule*, die nach ihrem ersten Erfinder Ritter auch die *Ritter'sche* genannt werden kann.

Es möge hier zuerst von der hydroelektrischen Säule, dann von der ihr nahe verwandten Ladungssäule gehandelt werden, und demnächst auch die trockne Säule zur Untersuchung kommen.

I. Die hydroelektrische oder Volta'sche Säule im engern Sinne.

Sie unterscheidet sich im Allgemeinen dadurch, dafs mit ihrer Wirksamkeit stets ein nachzuweisender chemischer Proceſs verknüpft ist, der die Mitwirkung des Wassers voraussetzt, und dafs der Quell ihrer Wirksamkeit unmittelbar in ihr selbst liegt.

A. Verschiedene Formen und Einrichtungen derselben.

AA. Die eigentliche Säule.

Die erste Form, in welcher der verstärkte galvanische Apparat auftrat, war die einer Säule im engern Sinne, durch Uebereinanderschichtung von metallischen Plattenpaaren, zwische welchen mit einer wasserhaltigen Flüssigkeit getränkte Tuch- oder Pappscheiben sich befanden. Diese Form ist auch jetzt noch eine der gebräuchlichsten und gewährt für manche Anwendungen, namentlich für die arzneiliche, manche Vorzüge. Als Metalle wurden im Anfange häufig Silber in Form von verschiedenen gröfseren Münzen und Platten von Zink angewandt, erstere wurden aber sehr bald durch das Kupfer verdrängt, das jetzt in den galvanisch-elektrischen Batterieen jeder Art das gebräuchliche Metall ist. Die Form der Metallplatten selbst für die Säulen ist willkürlich, man kann sie rund oder viereckig nehmen. Die Gröfse der Platten kann auf das Mannigfaltigste abgeändert werden, ebenso die Zahl der Abwechselungen. Die gröfsten Platten in dieser Form des Apparats haben zuerst Simon in Berlin in einer Säule von 60 Paaren Kupfer und Zink von 8″ Durchmesser[1], demnächst

1 G. IX. 393.

Biot[1] in einer Säule von zwar nur 12 kreisförmigen Platten, von denen aber jede 14 franz. Zoll im Durchmesser hatte, und van Marum und Pfaff[2] in einer Säule von 110 Plattenpaaren von 5″ Seite angewandt. Die gröfsten Säulen der Zahl der Plattenpaare nach sind von Buntzen, den Wiener Physikern und Ritter errichtet worden. Die des erstern[3] bestand aus 1050 runden Plattenpaaren von Zink und Kupfer von 1″ 8‴ Durchmesser mit Pappscheiben, die mit einer Auflösung von Salmiak und Zucker (welcher letztere angewandt wurde, um die Pappscheiben länger feucht zu erhalten) getränkt waren; sie war so stark, dafs ein Frosch, so grofs auch seine Lebenskraft war, durch Schliefsung der Kette augenblicklich getödtet wurde. Jacquin[4], Schreibers, Tihawsky und Bremser bauten zur Darstellung des Kaliums eine Säule von 1160 Plattenpaaren, welche zusammen 54 Quadratfufs 23 Quadratzoll Flächeninhalt von jedem Metalle hatte. Die gröfste Säule, die Ritter[5] errichtete, bestand aus 2000 Plattenpaaren von Kupfer und Zink, die ersteren viereckig, etwas über vier Quadratzoll, die letzteren rund, etwas gröfser als ein Laubthaler, die Pappscheiben von der Dicke einer Linie und mit concentrirter Salmiakauflösung getränkt. Die physiologischen Wirkungen dieser Säule waren so heftig, dafs selbst eine Kette von dreifsig Personen, nur mit trockenen Händen verbunden, auf das stärkste erschüttert wurde. Um solche grofse Säulen zu errichten, ist es erforderlich, sie in verschiedene kleinere Säulen zu theilen und auf die Art mit einander zu verbinden, wie schon im Artikel *Galvanismus* angegeben worden ist. Die einzelnen Säulen, aus welchen jene mächtige Säule Ritter's bestand, begriffen jede 100 Plattenpaare. Aber auch solche kleinere Säulen erfordern ihre angemessenen Gestelle, um sie bequem handhaben zu können. Man hat verschiedene solcher Gestelle angegeben; das einfachste ist ein starker hölzerner Klotz von wohl ausgedörrtem und zum Ueberflufs in Oel gekochtem Holze, auf welchen man, um die Säule für gewisse Versuche hinlänglich zu isoliren, eine dicke Scheibe von Harz

1 G. X. 28.
2 G. X. 121 ff.
3 G. XV. 251.
4 G. XXVIII. 133.
5 Physisch-chem. Abhandl. Bd. III. S. 370. G. XIX. 30.

aufgegossen hat und in welchen drei hinlänglich lange, wohl überfirnifste Glasstäbe eingelassen werden, auf welche eine wohl überfirnifste Holzscheibe aufgesteckt wird, die hinabgeschoben werden kann, um die Platten gut an einander zu pressen. Sind die Scheiben von einem kleinen Durchmesser, 1 bis 2 Zoll, so ist eine solche Art von Gestell oder Gestellen, wie sie Gilbert und Pohl angegeben haben, zu ihrer seitlichen Unterstützung nothwendig. Diese sind auch dazu geeignet, eine Säule von beliebiger Höhe dadurch so vollkommen als möglich zu isoliren. Das Wesentliche der von Gilbert[1] angegebenen Einrichtung besteht darin, dafs die Säule durch eine Druckschraube vermittelst eines übergreifenden dreieckigen Bretchens von oben zusammengehalten, seitwärts aber gegen das Uebereinanderschieben und Ausweichen der Metallplatten und das Umstürzen nicht durch drei Glasstäbe, sondern in der Höhe jeder 20sten oder 30sten Lage durch drei horizontale Schrauben gesichert ist, die in gleicher Ebene liegen und durch drei hinlänglich dicke lackirte hölzerne Pfeiler zusammengehalten werden, welche unten in das Bodenbretchen eingeschraubt und oben vermittelst eines gröfsern dreieckigen Bretchens, durch dessen Löcher ihre mit Schrauben versehenen Enden gehn, verbunden sind. Um die Säule so gut wie möglich zu isoliren, endigen die Schrauben in kleine Siegellackknöpfchen, mit welchen sie unmittelbar an die Metallplatten andrücken. Mittelst dieser Schrauben wird jede 20ste oder 30ste Platte durch horizontalen Druck von 3 Seiten her über der untersten Scheibe der Säule genau senkrecht erhalten, so dafs sie nirgendshin weichen kann und daher der Druck von oben her stets nur durch Stücke von 20 bis 30 Lagen ausgeübt wird.

Poul[2] hat durch eine zweckmäfsige Einrichtung sowohl die vollkommene Isolirung der Säule erreicht, als auch dem Nachtheile des Auspressens der Flüssigkeit der untern feuchten Pappen durch den Druck der darüberstehenden Metallplatten abgeholfen. Auf den beiden Säulen ab und cd, die aus starken Fig. 1. Drähten oder Röhren von Metall, auch aus einem festen Holze bestehn können, sind Hülsen von Metall verschiebbar, deren

1 G. VII. 183.

2 Der Elektro-Magnetismus. Berlin 1830. S. 78.

je zwei, wie e und f, durch eine Metallplatte g zusammenhängen, welche an massiven Glasarmen h und i von ihnen getragen wird und mittelst Stahlfedern, die unter der Druckschraube der Hülse liegen, in jeder beliebigen Höhe an den Ständern festgestellt werden kann. Die unteren Schichten ruhen auf einer isolirenden Unterlage kl und werden durch die darüber liegende Platte mn so stark zusammengedrückt, dafs sie in ihrer Lage festgehalten werden, ohne dafs jedoch die Flüssigkeit aus der Pappscheibe herausgepreſst wird. Gleichergestalt ruht auf mn die nächst höhere durch eine zweite isolirte Stellplatte ebenso zusammengedrückte Abtheilung der Schichten u. s. w.

Zum feuchten Leiter solcher elektrischer Säulen nimmt man entweder Scheiben von Pappe oder von Tuch, Flanell u. dgl. Letztere haben den Vorzug, dafs sie nicht, wie erstere, so fest an die Platten ankleben, und daher wiederholt gebraucht werden können, während erstere bei länger fortgesetzten Versuchen jedesmal aufgehn, auch die Reinigung der Platten erschweren. Nach Verschiedenheit der Stärke der Wirkung, welche man beabsichtigt, werden diese Scheiben mit Kochsalz oder Salmiakauflösung getränkt. Ritter empfiehlt als besonders wirksam zur Verstärkung eine Lauge von Kochsalzauflösung, Lackmusdecoct und Rindsgalle. Auch kann man zur Verstärkung das Kochsalz in Essig auflösen. Die Tuch- oder Pappscheiben dürfen nur so weit angefeuchtet werden, dafs der Druck des obern Theils der Säule nicht Flüssigkeit auspressen kann, weil diese, indem sie an dem Rande der Platten hinabfliefst und sich zwischen die Zink- und Kupferplatten hineinzieht, durch partielle Schliefsungen die Stärke der Säule bedeutend schwächen kann. Eben diese Nothwendigkeit des stärkern Auspressens der Tuch- oder Pappscheiben, um jenem Nachtheile abzuhelfen, thut der Wirksamkeit der Säule mächtigen Eintrag. Um derselben überhoben zu seyn, hat Ritter [1] schon frühzeitig die Zinkplatten an der einen Fläche mit einem etwas erhabenen, rund herumgehenden Rande versehn, der gleich beim Giefsen derselben durch die Form gegeben wird, wodurch die eine Fläche, auf welche die Tuch- oder Pappscheibe zu liegen kommt, einige Linien

1 G. VII. 373.

schmäler wird, aber die Pappscheiben einen sehr starken Druck aushalten können, ohne dafs die herausgedrückte Flüssigkeit an den Seiten abfliefsen kann, auch die Scheiben eine sehr starke Tränkung mit der Flüssigkeit zulassen, und das die Metalle so unangenehm verunreinigende Eindringen der herabfliefsenden Flüssigkeit zwischen dieselben verhindert wird. Pohl hat denselben Zweck durch sein Gestell zu erreichen gesucht, wodurch der Druck der obern Säulentheile auf die untern verhindert wird. Auch durch das Aneinanderlöthen der Kupfer- und Zinkplatten wird wenigstens jener zweite Nachtheil verhütet. Doch entbehrt man dabei die Bequemlichkeit, zu manchen Versuchen die Platten einzeln gebrauchen zu können, und an einem feuchten Orte aufbewahrt werden die Zinkplatten stellenweise stark angegriffen und erhalten bald Löcher mit weifsem Oxyd gefüllt, indem solche Doppelplatten als beständig geschlossene einfache Ketten wirken.

Manche der angeführten Nachtheile der *verticalen* Säulen werden am besten verhütet, wenn man sie in eine *horizontale* verwandelt. Haldane[1] hat diese Einrichtung zuerst in Anwendung gebracht, doch nur auf eine unvollkommene Art, indem er sich begnügte, in ein Bret eine 0,6 Zoll breite Rinne einzugraben, über welche er die aus 1,3 Zoll im Durchmesser haltenden Scheiben bestehende Säule legte, die dann nur auf den Schärfen des Ausschnitts ruhte, und wobei noch überdiefs durch eine wenig geneigte Lage des Brets der aus den feuchten Scheiben sich herabsenkenden Flüssigkeit ein Abflufs verschafft wurde. Vollkommen entspricht dagegen folgendes Gestell, welches ich gewöhnlich für die Volta'schen Apparate mit feuchten Tuch- oder Pappscheiben anwende, allen Forderungen und hat Vorzüge auch vor dem vollkommensten verticalen Gestelle. In zwei hinlänglich grofse und starke halbkreisförmige Holzbretchen sind zwei hinlänglich starke Holzleisten oder Stäbe in einer schiefen Stellung eingelassen, so dafs die in Gedanken verlängerte Richtung der Glasstreifen, die in sie eingekittet sind, in der Achse der elektrischen Säule, die auf ihnen ruht, einen rechten Winkel einschliefst. In ihrem obern Rande sind die Leisten mit einer Furche versehn, in welche eine Glasröhre oder ein Glasstreifen einge-

---

[1] G. VII. 202.

Digitized by Google

kittet wird. Auf der innern Fläche des einen halbkreisförmigen Bretchens ist eine dicke, runde und obendrein noch dick mit Siegellack überzogene Glasplatte eingelassen, durch das andere Bretchen geht eine hinlänglich lange Schraube, welche an ihrem einen Ende mit einer Holzscheibe versehen ist, in welche eine wohllackirte Glasplatte eingelassen ist. OPQ stellt eines der beiden Bretchen, worin die Leisten fest sitzen, in natürlicher Gröfse vor, wie es für Platten von anderthalb Zoll Durchmesser dient, OBC die in das Bretchen eingelassene Glasplatte, an welcher eine Endplatte der Säule anliegt, HG, NM sind die Stellen der Leisten im Durchschnitte durch ihre Breite und Dicke, BD und CI die Stellen der Glasstreifen im Durchschnitte nach ihrer Breite, Dicke und Lage innerhalb der Richtungen ABD, ACI, welche in dem Mittelpuncte A den rechten Winkel BAC machen, der durch den senkrechten Strich von A auf PQ halbirt wird. Dafs in dieser Richtung keine mathematische Genauigkeit nöthig sey, versteht sich von selbst. Bei der nach einem verjüngten Mafsstabe von der Seite schief entworfenen ganzen Batterie sind A und B die beiden Bretchen, worauf die Stäbe befestigt sind, FG ist der eine Stab oder die eine Leiste nach ihrer Breite und Länge, MN der Glasstreifen nach seiner Länge und nach der aus dem Falze der Leiste hervorragenden Breite, CD ist die auf den Glasstreifen ruhende Rolle von Scheiben, welche durch die Schraube M, die durch das Bretchen B hindurchgeht, gegen die Glasscheibe I hin beliebig zusammengedrückt werden können. Die Länge und Stärke der Stäbe und Glasstreifen richtet sich nach der Zahl und Gröfse der Metallscheiben, die man auf diese Art zur Säule schichten will, und die Entfernung der Glasstreifen an ihrem oberen Rande mufs etwas kleiner seyn als der Durchmesser der Metallscheiben, so dafs diese mit ihrem schmalen Rande sicher aufruhn, ohne durchzufallen. Bei grofser Länge, wenn man hundert und mehr Plattenpaare anwendet, und wenn das Gestell für gröfsere Platten bestimmt ist, müssen die Leisten noch innerhalb durch starke Querhölzer, die, um nicht mit den Platten in Berührung zu kommen, etwas ausgeschweift seyn müssen, verbunden werden, durch die das Gestell noch aufserdem mit aufruhn kann. Alles mufs auf das vollkommenste überfirnifst werden. Die grofsen Vortheile eines solchen

Fig. 2.

Fig. 3.

Gestelles sind zu einleuchtend, um weiter aus einander gesetzt werden zu müssen[1]. Eine so erbaute horizontale Säule kann auch sogleich in eine verticale verwandelt werden, wenn man das eine Endbretchen nicht weit vom obersten Puncte des Umkreises mit einem Loche durchbohrt, durch welches man eine Glasröhre steckt, die in eine entsprechende Vertiefung im andern Bretchen pafst und die Säule in ihrer neuen Lage sichert.

Eine Hauptrücksicht beim Gebrauche der gewöhnlichen elektrischen Säulen mufs auf ihre Erhaltung genommen werden. Da bei manchen Versuchen, die eine längere Zeit dauern, die Oberfläche der Zinkplatten stark oxydirt wird, oder mit einer Schicht von basischem Chlorzink sich überzieht, auch die Pappscheiben stark daran adhäriren, so müssen sie nach gemachtem Gebrauche mit warmem Wasser sorgfältig abgespült und mit Sand und Asche gut gescheuert werden. Die Kupferplatten, die nur beim Gebrauche des Salmiaks stark angegriffen werden, werden am besten mit Branntweinspülig gereinigt, in welchem man sie eine Zeit lang liegen läfst.

BB. Zellen-Apparate.

Sehr bald wurden die gewöhnlichen Volta'schen Säulen durch die *Zellenapparate* (die man zu den Trogapparaten im weitern Sinne rechnen kann und die von mehreren Physikern auch mit diesem Namen bezeichnet worden sind) verdrängt. Cruikshank[2] war der erste, der sie in Anwendung brachte. Er liefs aus Holz, das im Backofen getrocknet war, eine Art von Trog machen, der 26″ lang, 1,7″ tief und 1,5″ breit war, und in dessen Längenwände Falzen eingeschnitten wurden, jede ungefähr 0,1″ tief und so breit, dafs zwei auf einander gelöthete Platten Zink und Silber, jede von 1,6 Quadratzoll Oberfläche, sich genau hineinschieben liefsen. Die Falzen hatten eine solche Entfernung von einander, dafs je drei derselben eine Länge von 1,3″ einnahmen, so dafs die ganze Maschine 60 Plattenpaare faste. Die zusammengelötheten

1 Diese Einrichtung mit einigen Verbesserungen ist entlehnt aus Erfahrungen über die Heilkräfte des Galvanismus vom Hofrath Hellwag in Eutin. Hamburg 1802.

2 G. VII. 99.

Metallplatten wurden mittelst eines Kittes aus Harz und Wachs völlig wasserdicht in den Trog gekittet, so dafs kein Tropfen Flüssigkeit aus einer Zelle in die andere dringen konnte. Die Zellen oder Zwischenräume zwischen den Metallplatten füllte er mit Salmiakauflösung. Es versteht sich von selbst, dafs die Plattenpaare alle einerlei Stellung haben und in allen die Silberseite nach derselben Seite hin gerichtet seyn mufs. Berührt man (bemerkt CRUIKSHANK) die Flüssigkeit in der ersten und letzten Zelle, so erhält man einen starken Schlag in den Armen, der sich von dem Schlage einer gewöhnlichen Volta'schen Säule etwas unterscheidet, indem er lebhafter, minder bebend (*less tremulous*) und ähnlicher dem gewöhnlichen elektrischen Schlage ist. Indem sich CRUIKSHANK zwei solche Maschinen, jede von 50 Plattenpaaren, verfertigen liefs, konnte er sie zu einer einzigen von 100 Plattenpaaren vereinigen. Eine solche gab einen heftigen Schlag, wobei der Funke selbst bei Tage sichtbar war, aber merkwürdig schwach erschien ihm die geringe Kraft, welche sie in der Zersetzung des Wassers äufserte, in der sie nicht mehr that, als höchstens eine gewöhnliche Säule aus 30 Plattenpaaren, deren Schläge nicht $\frac{1}{4}$ so stark als die des Zellenapparats wären. Um nach gemachtem Gebrauche die Zinkplatten zu reinigen, gofs CRUIKSHANK in die Zellen verdünnte Salzsäure und liefs sie darin einige Minuten stehn. Auch noch nach einem einen Monat lang fortgesetzten Gebrauche zeigte sich die Maschine bei neuer Füllung noch ebenso wirksam, wie im Anfange, und ihre Wirksamkeit wurde aufserordentlich verstärkt, als CRUIKSHANK zur Kochsalzauflösung etwas Salpetersäure oder Salzsäure hinzufügte. — Diese Zellenapparate wurden bald durch Vergröfserung der Oberfläche der Plattenpaare und durch Vereinigung vieler einzelner Tröge zu einer als ein Ganzes wirkenden Maschine ins Riesenmäfsige verstärkt. PEPYS's Apparat[1] bestand aus 60 Fig. 4. Paaren Zink- und Kupferplatten, in zwei nach der beschriebenen Art eingerichteten Trögen vertheilt. Diese bestanden aus Mahagoniholz mit einem Firnifs überzogen, zum Schutze gegen die Flüssigkeit der Zellen und um eine Ausgleichung der Elektricität durch die Wände zu verhüten. Die Platten waren Quadrate von 6″ engl. Seite, und, um länger brauchbar zu seyn, so dick, dafs jedes Plattenpaar 4 Pfund wog; jeder

1 G. XV. 237. 466.

Trog war an seinen beiden Enden mit Zapfen versehn, welche auf der Querseite des für den Apparat bestimmten Tischchens auflagen und so angebracht waren, dafs der Schwerpunct des Trogs unter der Linie durch beide Zapfen lag. Die Tröge stellten sich daher nicht blofs von selbst horizontal, sondern liefsen sich auch leicht umkehren, wenn man sie ausgiefsen wollte. Zur bequemern gleichzeitigen Füllung der Fig. 5. Zellen dienten zwei Gefäfse. Das eine stellt eine Vereinigung von 6 Trichtern vor, die so eingerichtet sind, dafs sie in 6 an einander stofsende Zellen hineinreichen. Das andere ist Fig. 6. ein Gefäfs von Zinn mit sechs Abtheilungen und ebenso vielen Ausgüssen, deren jede genau so viel Flüssigkeit als eine einzelne Zelle faßt. Vermittelst dieser beiden Geräthschaften lassen sich die Tröge schnell und bequem mit jeder Flüssigkeit füllen. Man setzt die Trichter in 6 Zellen, taucht das andere Gefäfs in die Flüssigkeit, bis es gefüllt ist, und gieſst es in alle 6 Zellen zugleich aus. Zur Füllung der Zellen wurden 32 Pfund Wasser und 2 Pfund concentrirter Salpetersäure verwandt. Die beiden Tröge wurden an dem einen Fig. 7. Ende durch einen Metallbogen verbunden. FF sind die beiden Hauptleiter, aus zwei Stäben von Kupfer mit einem Wulste bestehend. Sie gehn durch Löcher, welche im Deckel des Tischchens angebracht sind, in die Endzellen der Tröge hinab. Auf sie lassen sich zwei andere in ein Knie gebogene hohle Metallleiter und auf diese wieder zwei andere GG, die sich mit einer Kugel endigen, aufschieben. Auch lassen sich, wenn der Versuch es erfordert, zwei Schälchen auf die Hauptleiter aufschieben. Die beste Art, die Verbrennungsversuche anzustellen, ist, dafs man den einen der Hauptleiter in eine Schale voll Quellwasser leitet und auf den andern die Körper, die man verbrennen will, befestigt. Kohlen von Buxbaum wurden in einer Länge von 2″ rothglühend und blieben es fortdauernd. Der elektrische Strom vermochte Kohlen selbst dann noch zu entzünden, wenn er durch 16 Menschen gegangen war, die sich mit feuchten Händen angefafst hatten. Rollblei verbrannte mit grofser Lebhaftigkeit, indem es Garben von Funken mit Rauch aussprühte. Blattsilber verbrannte mit einem intensiven grünen Lichte und Blattgold mit einem glänzenden Lichte, ohne Funken und Rauch. Platindraht, $\frac{1}{15}$″ dick, wurde rothglühend und schmolz zu Kügelchen.

Digitized by Google

Doch die gröfsten Zellenapparate sind die des *Royal Institution* in London und der *École polytechnique* in Paris. Jener besteht aus 24 Plattenpaaren Kupfer und Zink, jede von 12″ Seite, aus 100 Plattenpaaren, jede von 6″ Seite, und aus 150 Plattenpaaren, jede von 4″ Seite. Zur Zersetzung des Kali's und Natrons wendete H. Davy die beiden letzteren an, so dafs also 250 Plattenpaare in Wirksamkeit gesetzt wurden. Die Zellen selbst wurden mit einem Gemische von Alaunauflösung und verdünnter Salpetersäure gefüllt.

Von dem grofsen Zellenapparate der *École polytechnique*, durch welchen die Franzosen den Engländern nacheiferten, haben Gay-Lussac und Thénard eine ausführliche Beschreibung und Abbildung gegeben[1]. Dieser Apparat besteht aus 500 gleichen Plattenpaaren aus Kupfer und Zink, die zusammen gelöthet sind, jedes Plattenpaar 4 Kilogrammen (8 Pfund) und zwar das Kupfer 1, das Zink 3 Kilogrammen wiegend, deren grofse Seitenflächen Vierecke von 0,3 Meter Seite (11,1 paris. Zoll) bilden, und 100 Plattenpaaren von demselben Gewichte und derselben Oberfläche, aber in Gestalt eines Rechtecks 0,6 Meter lang und 0,15 Meter breit. Die Platten sind in 7 hölzernen Rahmen befestigt. Zwei auf einander folgende Plattenpaare sind an drei Rändern durch hölzerne, mit einem Harzfirnisse überzogne Lineale getrennt, ihre Entfernung beträgt ungefähr 1½ Linien. Alle Plattenpaare desselben Rahmens sind von aufsen mit Firnifs überzogen, so dafs der Raum, welcher zwei auf einander folgende Plattenpaare trennt, nur an einer einzigen Seite offen ist, an welcher die Flüssigkeit hineingegossen wird. Um die Zellen zu füllen, stellt man die 7 Rahmen parallel neben einander, und etwas höher an dem einen Ende jedes derselben zwei Tonnen, die eine voll Flufswasser, die andere voll der sauren Flüssigkeit, welche den elektr. Strom erregen soll. Der Rahmen wird so gestellt, dafs die obere Fläche der Plattenpaare etwas geneigt ist, und hölzerne gefirnifste Leisten, welche längst der Ränder dieser Platten gestellt werden, halten die Flüssigkeit, die aus den Tonnen fliefst, zurück, bis sie die Zwischenräume erreicht hat, die diesen Tonnen zunächst stehn.

1 Recherches physico-chimiques. Par. 1811. p. 1. Ausgezogen in G. XXXII. 41.

Digitized by Google

Durch einen Heber fliefst die Flüssigkeit in einen hölzernen Trichter ab, der über dem mittelsten Zwischenraume hängt. Da alle Platten in dem untern Theile in der Mitte ihrer Breite ein cylindrisches Loch haben, so füllen sie sich von dem mittlern Zwischenraume aus. Die Löcher an den beiden Endplatten sind durch einen Stab von Fischbein mit Wachs überzogen und einen Pfropfen geschlossen. Nach beendigtem Versuche wird die Flüssigkeit abgelassen und mit dem Flufswasser aus den andern Tonnen werden die Zwischenräume sorgfältig ausgewaschen.

Die Erfolge mit diesem Apparate boten jedoch nichts Aufserordentliches dar. Die Länge der verbrannten oder zum Glühen gebrachten Eisen- und Platindrähte ist nicht angegeben. Baryt, Strontian und Kalk zeigten am negativen Pole deutliche Zeichen des Verbrennens, insbesondere zeigte der Kalk das Schauspiel einer sehr rothen, oft erneuerten Flamme. Nach 12 bis 15 Minuten nach der Füllung hatte der Apparat seine Wirksamkeit schon gröfstentheils verloren.

CC. Eigentliche Trogapparate. Becherapparate.

Von den Zellenapparaten unterscheiden sich noch die *Trogapparate* im engern Sinne, bei welchen die hierzu eigends eingerichteten Combinationen der Metallplatten in eigends eingerichtete Tröge erst beim Gebrauche eingetaucht und nach demselben wieder herausgenommen werden.

Die erste Idee zu diesen Trogapparaten gab der Becherapparat (*Corona di tazze*), welcher von dem berühmten Erfinder der Säule selbst herrührt und welcher auch bald von einigen Experimentatoren, namentlich von Davy[1], Brugnatelli[2] und Desormes[3], zur Aufklärung der Theorie der Säule mit Nutzen gebraucht wurde. Eine Reihe von Gläsern oder Bechern (die nur nicht metallisch seyn dürfen) wird mit warmem Wasser oder einer Salzauflösung angefüllt und in jedes Glas eine Zink- und Silberplatte getaucht, die sich aber nicht berühren dürfen. Jede Platte mufs einen verlängerten Streifen oder Haken haben, mittelst dessen die Platten der verschie-

1 G. VIII. 300.
2 G. VIII. 287.
3 G. IX. 18.

Digitized by Google

denen Gläser sich so in Verbindung setzen lassen, dafs das Zink des ersten Glases das Silber des zweiten, das Zink des zweiten Glases das Silber des dritten berühren und so ferner, bis Zink und Silber aller Gläser auf diese Art mit einander verbunden sind. VOLTA nahm Platten von einem Quadratzoll Oberfläche, die sie unter einander verbindenden Streifen können auch bloſse Drähte seyn. Die beiden äufsersten Gläser stellen bei dieser Anordnung die Pole dieser Art von Säule dar und die Schliefsung zwischen dem ersten und letzten Glase mit den Fingern bringt einen elektrischen Schlag hervor.

Eine Abänderung dieses Becherapparats rührt von OERSTED her, welche GAHN noch etwas verbesserte[1]. Letzterer nahm nämlich 4 Zoll hohe und einen Zoll weite Gläser und legte auf den Boden eines jeden etwas Blei, Zinn oder Zink oder ein aus diesen Metallen gemischtes Amalgam. Das schmale Ende eines zuvor in Quecksilberauflösung getauchten und dieses Ende ausgenommen mit einer Mischung aus Wachs und Harz überzogenen, streifenförmig geschnittenen Kupferblättchens wurde in dieses Amalgam gesteckt, das andere breitere nicht überzogene Ende in das andere Glas hineingebogen, so dafs es in einiger Entfernung über dem Amalgam blieb. Auf das Amalgam warf GAHN einige Zinkstückchen, füllte in die Gläser liquiden schwefelsauren Zink, dem noch etwas Schwefelsäure zugesetzt wurde, und überzog den Rand der Gläser mit einer Mischung aus Wachs und Harz, um das Uebersteigen salziger Flüssigkeiten über die Ränder zu verhindern. Das Amalgam dient nur zur genauern und vollständigern Berührung zwischen Zink und Kupfer. Der Vortheil dieser Einrichtung besteht vorzüglich darin, dafs man einzelne Zinkstückchen und Körner anwenden und, wenn das Metall oxydirt und aufgelöst ist, neue Stücke hineinwerfen kann.

Diese Becherapparate gestalteten sich später zu den eigentlichen Trogapparaten und in dieser Form wuchs der Volta'sche Embryo unter den Händen der Physiker zur riesenmäfsigen Gröfse. Den eigentlichen ersten Trogapparat gab WILKINSON an[2]. Einen Trog nämlich, wie er zu den Zellenapparaten längst in England gebräuchlich war, theilte er, statt

---

1 G. XIV. 237.
2 G. XXVI. 361.

Digitized by Google

die zusammengelötheten Plattenpaare in Falzen desselben einzulassen, durch hölzerne Zwischenwände, welche einen halben Zoll von einander entfernt und auf das beste verkittet waren, in einzelne Zellen ab. Je eine Zink- und eine Kupferplatte, die etwas kleiner als diese Zellen waren, liefs er an das Ende eines Metallbogens anlöthen, der so lang war, dafs sich die Platten in zwei an einander stofsende Zellen hineinschieben liefsen. Auf jedem dieser Bogen war zu oberst ein Ring so angelöthet, dafs er, wenn die Platten in die Zellen eingesenkt waren, senkrecht auf der Axe des Trogs stand und dafs sich dann ein eiserner Stab durch alle Ringe hindurch schieben liefs. Dieses geschieht, wenn man die Platten wieder herausnehmen will, um sie vom Oxyde zu befreien. Durch diese Einrichtung ward der doppelte Vortheil erreicht, dafs auch die zweite Fläche jeder Metallplatte, die bei dem Zellenapparate durch das Zusammenlöthen verloren geht, so wie der Theil der Oberfläche, der bei letzterer Einrichtung in die Falze eingekittet ist, mit in Wirksamkeit versetzt wird oder als erregende Oberfläche mit wirkt. Dafs ein solcher hölzerner Trogapparat auf das vollkommenste an seiner innern Oberfläche mit einem gut isolirenden Kitte überzogen seyn mufs, um alle Ausgleichung der Pole durch die Seitenwandungen des Trogs und um jede Communication der Flüssigkeit von einer Zelle zur andern, die denselben Nachtheil herbeiführen würde, zu vermeiden, versteht sich von selbst. In einem sehr grofsen Mafsstabe wandte Children[1] einen solchen Trog an, und zwar in seinen ersten Versuchen durch Vergröfserung der Platten zu einer Länge von 4 engl. Fufs und einer Breite von 2 Fufs, in seinen spätern Versuchen[2] sogar zu einer Länge von 6 Fufs und einer Breite von 2 Fufs 8 Zoll, die also an beiden Seiten zusammengenommen 32 Quadratfufs Oberfläche hatten. Die Zink- und Kupferplatte jedes Plattenpaares waren mit einander durch einen Streifen Blei verbunden und alle Platten in der bekannten Folgenreihe an einen hölzernen Rahmen gebunden, der an Seilen und Rollen durch Gegengewichte im Gleichgewichte hing, daher er sich leicht hinab und herauf bewegen liefs, so dafs man die

1 G. XXXVI. 864.
2 G. LII. 133.

Digitized by Google

Platten nach Willkür in die Tröge hinablassen und wieder herausziehn konnte. Der Trog von Holz bestand aus 21 Zellen, welche zusammen 940 Gallonen Flüssigkeit (jede zu 191 Pariser Duodecimalkubikzollen oder $3\frac{1}{10}$ Berliner Quart) fafsten. In jeder der beiden äufsersten Zellen befand sich demnach nur eine Platte, und zwar in der einen eine Kupferplatte, die zu der in der nächsten Zelle hängenden Zinkplatte gehörte, in der andern äufsersten eine Zinkplatte, die mit der in dem vorangehenden Troge hängenden Kupferplatte zusammenhing. An jedem Pole der Batterie war eine Röhre von Blei von 0,75 Z. Durchmesser gelöthet, deren anderes Ende in ein Gefäfs mit Quecksilber herabging. An jedem Ende des Trogs stand eines dieser Gefäfse und das Quecksilber in beiden ward in leitende Verbindung gesetzt, wie man die Batterie schliefsen wollte. Mit dieser vorzüglich durch die grofse Oberfläche der einzelnen Platten ausgezeichneten Batterie wetteiferte eine nach demselben Principe eingerichtete durch die aufserordentliche Zahl ihrer Plattenpaare, welche für das *Royal Institution*, dessen Mitglieder über 1000 Pfd. *Sterling* unterschrieben, angeschafft wurde [1] und aus 2000 Plattenpaaren Zink und Kupfer, jede Platte von 6 Zoll Seite, bestand, die in 200 hölzerne Tröge vertheilt waren. Die Einrichtung eines einzelnen solchen Trogs erkennt man aus der Abbildung. Er enthält 10 Zellen, dazu gehören 18 viereckige Platten, welche je 2 und 2 (eine Zink- und eine Kupferplatte) an den schmälern oben zweimal rechtwinklig gebogenen Metallstreifen angelöthet und durch diese Metallstreifen an einen, besonders an dieser Verbindungsstelle stark lackirten Querbalken angeschraubt sind, mittelst dessen sie sich alle, ohne ihre Lage zu verändern, auf einmal in ihre Zellen hineinsetzen und herausnehmen lassen. Die Endplatten hängen durch verlängerte Metallstreifen mit denen des daran stofsenden Trogs zusammen, so dafs sie zu einer ganzen Batterie vereinigt werden können. Am Ende des Julius 1810 wurde eine Batterie zum erstenmal im *Royal Institution* in Wirksamkeit gesetzt und dadurch im luftleeren Raume Kohle verflüchtigt, Iridium und auch Thonerde an der Oberfläche geschmolzen. Eine wesentliche Verbesserung erhielten diese

Fig. 8.

1 G. XXXVII. 51.

Apparate durch Anwendung zweier Kupferplatten auf jed Zinkplatte. Diese Verbesserung wurde zuerst von Children bei seinem Riesenapparate angewandt. Er bemerkt[1], dafs, al er im Anfange blofs eine gleich grofse Kupferplatte, wie di Zinkplatte, anwandte, der Erfolg seiner Erwartung gar nich entsprach; als er aber jedes Plattenpaar noch mit einer zwei- ten Kupferplatte versah, so dafs zu jeder Zelle des Trogs eine Zinkplatte und zwei Kupferplatten gehörten und jeder der beiden Oberflächen einer Zinkplatte eine Kupferplatte gegen- überstand, welche Veränderung er dem Rathe des Dr. Wol- laston zufolge gemacht hatte, die Wirksamkeit der Batterie nach einigen vergleichbaren Versuchen wenigstens verdoppelt wurde. Die Trogapparate, wie sie jetzt in England verfertigt werdn, sind nach dieser verbesserten Einrichtung. An die Stelle der hölzernen Tröge sind Tröge von Wedgwood'scher, wohl glasirter Masse getreten, welche in hölzernen Behältern stehen, aus welchen sie mit ihrer halben Höhe hervorragen. Sie enthalten gewöhnlich 10 Zellen, deren Höhe und Länge 5 Z. Par. und deren Breite (der Abstand einer Zwischenwand von der andern) 1,5 Zoll beträgt. Jede Zinkplatte hat 4 Zoll Seite, auf jeder Seite von der Kupferplatte umschlossen, wel- che aber nicht mit ihr sondern mit der Zinkplatte in der nächst daran stofsenden Zelle zu einem Paare vereinigt ist.

Fig. 9. Die Zeichnung stellt die Einrichtung eines solchen Elements in senkrechtem Durchschnitte dar. CC ist die Zelle, in wel- che dasselbe eingesenkt ist, z die 2 Linien dicke Zinkplatte, an welcher oben in der Mitte ein schmaler rechtwinklig ge- bogener Ansatz z′ sich befindet, der genau an den Fortsatz K′K′ der Kupferplatte in der nächst darauf folgenden Zelle an- schliefst und durch eine Schraube an das Querholz LL, wel- ches alle zu einem Troge gehörige Plattenpaare trägt, befestigt ist. Die Kupferplatte KK von mäfsig dickem Kupferblech umschliefst auf beiden Seiten und unten das Zink, und ist, doch ohne unmittelbare Berührung, dadurch in eine feste Ver- bindung mit demselben gebracht, dafs dieselbe über 4 ein- geschaltete halbcylindrische Holzstücke h h, h′ h′, wovon zwei oben und zwei unten am Rande der Zinkplatte sich befinden, übergeschlagen ist. Die Zinkplatte selbst ist mit einem kleinen

1 G. LII. 355.

Digitized by Google

Theile ihres obern und untern Randes in diese Hölzchen eingelassen. Diese Kupferplatte verlängert sich auf der einen Seite in ihrer Mitte in einen schmalen Streifen b, welcher rechtwinklig gebogen sich über den Anhang der Zinkplatte Z in der nächst daran stofsenden Zelle endigt und damit in die genaueste metallische Berührung kommt. An der Zinkplatte in der letzten Zelle ist ein längerer Kupferstreifen angelöthet, um die metallische Verbindung mit der Kupferplatte zu unterhalten oder sonst als Leiter zu dienen.

DD. Kastenapparate.

Oersted[1] und Graf Stadion in Wien[2] haben diese Apparate angegeben. Sie bestehn aus schmalen, parallelepipedischen Trögen oder Kasten von Kupferblech. Die meinigen haben eine Höhe und Länge von 10″, sind aber nur einen halben Zoll breit. Man stellt dieselben auf ein isolirendes (überfirnifstes) hölzernes Gestell so mit ihren breiten Seiten neben einander, dafs sie einander nicht berühren, aber doch einander nahe genug stehn. An der einen Seite jedes Kastens ist am Ende des obern Randes aufsen ein einen bis anderthalb Zoll langer, an seinem Ende aufwärts gebogener Stab von Kupfer angelöthet, so dafs auf diese Weise alle Stäbe zusammen einer Kupferstange zur Unterlage dienen, um welche eine Zinkplatte von 9″ Seitenlänge mit ihrem obern Rande umgeschlagen wird und in den nächst angrenzenden Kasten hinabhängt, mit welchem sie in keine metallische Berührung kommen darf, was man am sichersten dadurch verhindert, dafs man ihren untern Rand in eine schmale überfirnifste Holzleiste einläfst, die auf beiden Seiten etwas übersteht. K K, K′ K′ sind zwei solche auf einander folgende kupferne Kasten in ihrem senkrechten Durchschnitte, a, a die am obern Ende auf beiden Seiten angelötheten, am Ende aufwärts gebogenen Kupferstäbe, wovon an jedem Kasten nur der eine sichtbar ist, b die auf ihnen ruhende kupferne Stange, welche von der Zinkplatte z, die in den nächstfolgenden Kasten hinabhängt, mit ihrem umgebogenen Rande umfafst wird. Der erste Kupferkasten k k und die damit in metallischer Berüh- Fig. 10.

1 Schweigger's Journ. XX. 213.
2 G. LV.

rung stehende Zinkplatte z stellen auf diese Weise ein Pla tenpaar dar. Man kann die Verbindung der Zinkplatte m dem Kupferkasten auch noch auf andere Weise erreiche Eine solche Einrichtung nach Oersted stellt die Zeichnun Fig. 11. und 12. dar. Der kupferne Bügel DE hat bei E einen Einschnitt fi die Zinkplatte, welche besonders abgebildet ist. Diese Plat hat oben einen Kopf A, mit welchem sie auf dem Bügel au ruht. Der breite Theil der Zinkplatte BCDE hängt mittel eines schmalen Halses an diesem Kopfe. Bei F, G und sind kleine hölzerne Stifte angebracht, um die Berührung d Zinks mit dem Kupfer zu verhindern. Statt der parallelep pedischen Kasten nahm Oersted auch cylindrische, in we che concentrische hohle Cylinder von Zink von verhältnif mäfsig kleinerem Durchmesser an einem starken Bügel, dur welchen sie mit dem vorangehenden Kasten verbunden sin herunterhängen.

EE. Andere Volta'sche Apparate.

Man hat noch manche andre hydroelektrische Apparate Vorschlag gebracht, welche einer der vier Hauptgattungen, d wir unterschieden, mehr oder weniger nahe kommen, und b denen man theils gröfsere Bequemlichkeit, theils gröfsere Wirk samkeit, oder auch eine längere Dauer der Wirkung ohne merk liche Schwächung, endlich auch gröfsere Wohlfeilheit beab sichtigte. Dahin gehört Erdmann's sogenannter *Kapseln-Ap parat*[1]. Er besteht aus viereckigen Zink- und Kupferplatte mit stumpfen Ecken 14″ ins Gevierte. In jeder Zinkplatte i an dem einen Rande eine kleine runde Rinne eingefeilt. Au ganz dünner Pappe, nicht stärker als ein Kartenblatt, schni er sich dünne Rahmen aus, nur 1 Lin. breit. Diese wurde mit einer Auflösung von Mastix und Sandarac in Terpentin getränkt, sodann auf die Zinkplatte dergestalt gelegt, dafs d offene Seite des kleinen Papprahmens mit der Seite des Zink zusammentraf, auf welcher sich die Rinne oder der Eingu befand, die Kupferplatte darauf gelegt und mit der Zinkplatt so lange zusammengepreſst, bis der Lack in dem zwischen liegenden Rahmen trocken war. Auf diese Art entstand au zwei heterogenen Metallplatten ein Behälter oder eine Kapse

1 G. XII. 458.

Digitized by Google

die zur Aufnahme einer sehr dünnen Schicht von Flüssigkeit geschickt war. Um derselben noch mehr Festigkeit zu geben und sie dieselbe noch besser zu isoliren, überzog Erdmann die Ränder mit dem erwähnten mit Zinnober versetzten Oelkitt. Diese Metallkapseln wurden in einem Kasten in horizontaler Richtung so an einander gereiht, dafs die Kupferseite der einen Kapsel stets an die Zinkseite der andern zu liegen kam, und in solcher Lage, dafs die Rinne, durch welche der kleine innere Zwischenraum mit der Flüssigkeit gefüllt wurde, nach oben stand. Durch einen auf solche Weise construirten Apparat will Erdmann, was die Schläge und Funken betrifft, eine wenigstens noch einmal so starke Wirkung erhalten haben, als durch eine Volta'sche Säule von gleicher Gröfse der Platten und gleicher Zahl der Elemente.

Professor Hauff in Marburg[1] liefs sich kleine Glaskugeln von 2½″ Durchmesser blasen, mit einem Tubulus und Glasstöpsel versehn, und schliff dann von beiden Seiten der Kugel Segmente von gleicher Gröfse und einander parallel ab. An die eine Seite kittete er eine Kupferscheibe luftdicht an, an der andern wurde ein messingner Ring mittelst Schmirgel auf das Glas aufgerieben, und wenn er überall genau pafste, mittelst eines kalten Kitts, womit man die Röhren der Wasserleitungen an einander zu kitten pflegt, so auf das Glas befestigt, dafs er luft- und wasserdicht schlofs. Dieser messingne Ring war mit einer Mutterschraube versehn, in welche ein zweiter, an die Zinkplatte gelötheter und mit Schraubengängen versehener Messingring sich einschrauben liefs. Statt der Glaskugeln wandte Hauff auch Glascylinder von 1 Zoll Höhe und 1,5 Zoll Weite an, an beiden Enden offen, an welche, wie an die Glaskugeln, die Zink- und Kupferplatten befestigt wurden. Diese einzelnen Elemente wurden in einem passenden Gestelle in horizontaler Richtung und in gehöriger Ordnung an einander gereiht, so dafs immer eine Zinkplatte mit der Kupferplatte des daran stofsenden Glascylinders in Berührung kam. Zur Füllung wurde eine Salmiak-Auflösung gebraucht. Hauff schreibt seinem Apparate eine sehr grofse Wirksamkeit zu, die Monate lang ungeschwächt fortgedauert habe, wobei die Oxydation des Zinks nur ganz unbedeutend

1 G. XV. 77.

gewesen seyn soll. Wie wenig Vertrauen aber seine Angabe verdienen, ersieht man am besten daraus, dafs er einen sol chen Apparat dadurch in seiner Wirksamkeit verdoppelt ha ben will, dafs er je zwischen zwei solche Glasbehälter zwe ganz trockene Metallplatten brachte, nach folgendem Sche ma: (Zink, feuchter Leiter, Kupfer,) Zink, Kupfer, (Zink feuchter Leuter, Kupfer) Zink, Kupfer u. s. w., wo di durch das Zeichen ( ) verbundenen Glieder ein Continuum oder das ursprüngliche Element bildeten; dafs er ferner de Apparat auch dann wirksam beobachtet haben will, wenn di mit keinem Tubulus versehenen Cylinder, die vorher mit de Flüssigkeit gefüllt worden waren, ehe die Zinkplatte aufgeschraubt wurde, vollkommen dicht verschlossen waren und die in de Flüssigkeit sich entwickelnden Gase keinen Ausgang fanden.

Ritter brachte einen sogenannten *Schüsseln-Apparat* in Vorschlag[1]. Diese Art von Säule besteht aus einer Reih in einem passenden Gestelle über und in einander gehängte Kupferschüsseln, die so mit einer verdünnten Säure gefüllt sind, dafs die Flüssigkeit der einen Schüssel stets die Bodenfläche der andern berührt, und wird dadurch in Thätigkeit gesetzt, dafs man in jede Schüssel mehrere kleine Stückchen Zink wirft, die für jede Schüssel 1 bis 1,5 Quadratzoll auch noch weniger betragen, während die erregende Oberfläche jeder Schüssel selbst 30 bis 40 Quadratzoll beträgt. Ein solcher Schüsselnapparat von 50 Abwechselungen mit 40facher verdünnter Schwefelsäure soll an Mächtigkeit einer guten Salmiaksäule von 50 Lagen 30 quadratzolliger Platten nahe kommen, bei 30fach verdünnter Schwefelsäure sie übertreffen und bei 15fach verdünnter noch unbestimmte Male stärker wirken, obgleich ihre Spannung beständig viel niedriger bleibt als sie bei gewöhnlichen Säulen gleicher Lagenzahl ist.

Ganz neuerlich hat der Schotte Kemp einige sinnreiche Säulenapparate angegeben, die sich dadurch empfehlen, dafs sie die Vortheile der gewöhnlichen Volta'schen Säulen mit denen der Zellen- und Trogapparate vereinigen. Ein solcher Apparat[2] besteht aus runden hölzernen Schalen von 0,5 Zoll Tiefe und 3 Zoll Durchmesser A B C D mit einem überspringenden Rande

Fig. 13.

1 Gehlen's Journ. d. Ph., Ch. u. Min. V. 303.
2 Das Laboratorium. XXII. Heft. Weimar 1830.

Digitized by Google

AB. EF ist eine runde, an der untern Fläche convexe Zinkplatte, in Abstande von $\frac{1}{8}$ Zoll durch einen Kupfer- oder Zinkdraht mit der Schale so verbunden, dafs das eine Ende durch den Boden der Schale durchdringt und inwendig $\frac{1}{8}$ Zoll vorsteht. Der ganze Verband wird dann durch einen Wachsüberzug wasserdicht gemacht, wobei man jedoch darauf sieht, dafs die vereinigende Drahtspitze ganz frei von Wachs bleibt. Eine Quantität Quecksilber, gerade hinreichend, den Boden zu bedecken, wird alsdann in die Schale geschüttet, welche durch den Draht mit der Zinkplatte EF in Verbindung steht. Auf das Quecksilber wird verdünnte Salzsäure aus einem Theile concentrirter Salzsäure und 10 Theilen Wasser gegossen, so dafs die Schale beinahe dadurch gefüllt wird. Auf diese Weise hat man ein vollständiges Volta'sches Element, welches aus Zink, Quecksilber und Säure besteht. Indem man nun die Reihe fortsetzt, kann man sie beliebig vermehren. Nachdem man das Quecksilber und die Säure eingetragen hat, setzt man sie, um die Säule aufzubauen, über einander, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist. Die Zinkplatte der einen Schale wird alsdann mit der Säure der unmittelbar unter ihr stehenden Schale in Verbindung seyn und die Schale selbst ruht in einem kleinen Falz, welcher ringum am untern Theile des Randes angebracht ist. Auf diese Weise kann man jede Zahl von Schalen über einander bauen und nöthigen Falls durch Glasstäbe, welche in die Basis eingefügt sind, in ihrer gehörigen Lage erhalten. Diefs ist jedoch nur bei Schalen von kleinem Durchmesser nöthig, auch kann man mehrere kleine Säulen neben einander aufbauen und auf die bekannte Weise zu einer Säule mit einander verbinden. Bei der angegebenen Art des Aufbauens befindet sich der negative Pol nach oben, der positive nach unten. Die Communication der Pole geschieht durch knieförmige, messingene Röhren, die mit den Endplatten verbunden werden. Die Zinkplatten sind darum an ihrer untern Fläche convex, damit das aus der Salzsäure sich entwickelnde Wasserstoffgas sich nicht an derselben ansammele, sondern immerfort entweiche. Fig. 14.

Noch vortheilhafter fand Kemp eine Einrichtung, bei welcher der positive Erreger vielmehr flüssig und der negative starr war. Sie stimmt ganz mit der angegebenen überein, ausser dafs statt der Zinkplatte an der untern Fläche der Scha-

Digitized by Google

len Kupferplatten angebracht sind und man in die Schale ein Quecksilberamalgam giefst, das man aus einem Theil Zink und vier bis fünf Theilen Quecksilber, die in einem Schmelztiegel bis nahe zum Siedpuncte des Quecksilbers erhitzt werden, bereitet und zu welchem man noch nach der Erkalten einen Theil Quecksilber hinzufügt. Die Zeichnung giebt eine Vorstellung dieser Schüsseln von oben herab betrachtet. E F ist eine runde Kupferplatte, mittelst eines kupfernen Drahtes, an welchen ein Schraubengang geschnitten ist, an die Schale befestigt. Der Draht läuft durch die Schale und schraubt sich in die messingne Nufs I, welche inwendig in die Schale eingelassen ist. Der hölzerne Knopf bewirkt, dafs die Kupferplatte in ihrem gehörigen Abstande erhalten werden. In diesem Falle dauert die Wirkung so lange fort, als noch nicht alles Zink in der Salzsäure sich aufgelöst hat, wobei das Quecksilber selbst nicht angegriffen wird und stets wieder zur Bereitung von neuem Amalgam verwendet werden kann. Der positive Pol befindet sich in diesem Falle nach oben, der negative unterwärts. Damit das Wasserstoffgas entweichen könne, sind die Kupferplatten mit vielen Löchern durchbohrt. Eine Säule blofs von 12 Schalen von 1¼ Zoll Durchmesser, mit obiger Salzsäure in Thätigkeit gesetzt, war so wirksam, dafs bei der Schliefsung der Kette mittelst eines Drahtes und ein Platte von Zink durch ein Silberblatt eine anhaltende Verbrennung erfolgte, und um so rascher, je gröfser die Oberfläche war, in welcher das Silberblatt mit der Zinkplatte in Berührung kam. Die elektromagnetischen Wirkungen einer solchen Säule fand Kemp so stark, als die einer Batterie von Zink und Kupfer von gleicher Anzahl von Elementen und 1 Zoll ins Gevierte. Ein besonderer Vorzug dieser Säule besteht darin, dafs sich auf der Oberfläche des positiven Erregers nie eine Schicht von Oxyd bildet, indem das Zink des Amalgams fortwährend aufgelöst wird, und die Oberfläche des Quecksilbers, mit welcher die Säure in Berührung steht, stets rein und glänzend bleibt. Auch dauert die Wirksamkeit der Säule so lange fort, bis alles Zink aufgelöst ist.

Fig. 15. und 16.

Digitized by Google

B. Gesetze, nach denen sich die Stärke des elektrischen Stroms der hydroelektrischen Säule und verwandter Apparate richtet, und Bestimmung des relativen Werthes und der eigenthümlichen Wirkungsweise der verschiedenen Apparate.

Wir haben bereits unter dem Artikel *Galvanismus* die allgemeinen Grundsätze entwickelt, nach denen der Einfluss der Verschiedenheit der Umstände, die in der Construction einer hydroelektrischen (Volta'schen) Säule vorkommen, auf die Wirksamkeit derselben in Hervorbringung der Hauptclassen von Erscheinungen, die von derselben abhängen, zu beurtheilen ist. Wir haben besonders[1] Rechenschaft von dem Einflusse der verschiedenen Beschaffenheit des feuchten Leiters, der verschiedenen Gröfse der Berührungsfläche desselben mit den Metallplatten, der verschiedenen Beschaffenheit des Körpers, durch welchen die Schliefsung der Kette geschieht und auf welchen die Wirkung der Säule gerichtet ist, nach den Grundsätzen der Volta'schen Theorie zu geben gesucht. Nach diesen allgemeinen Grundsätzen würde demnach die verschiedene Wirksamkeit der jetzt erst näher beschriebenen hydroelektrischen Apparate zu beurtheilen seyn. Ehe wir indefs diese Anwendung machen, ist erforderlich, nach den in neuern Zeiten in dieser Lehre gemachten Fortschritten diese Grundsätze selbst noch genauer zu bestimmen, als es von uns geschehn ist. Diese Fortschritte verdanken wir besonders den scharfsinnigen Erörterungen Ohm's[2] und den genauen Messungsversuchen Fechner's[3].

Wir können es als vollkommen bewiesen annehmen, dafs

---

1 Bd. IV. §. 99. S. 948.

2 Sie finden sich im Zusammenhange dargestellt in seiner Schrift: Die galvanische Kette mathematisch betrachtet. Berlin 1821. und in verschiedenen Abhandlungen in Schweigger's Journale. XLIV. 1 — 241. 308. XLVI. 137. XLIX. 1. LV. 1. Poggendorff's Annalen IV. 79. VI. 459. VII. 45. Kastner's Archiv XIV. 475. XVI. 1.

3 Massbestimmungen über die galvanische Kette. Von Gustav Fechner. Leipzig 1831.

Digitized by Google

alle Wirkungen der Volta'schen Säule vom dem elektrisch Strome abhängen, der durch dieselbe in Bewegung gese wird und welcher, so lange sie geschlossen ist, durch selbst und den die Kette schliefsenden Bogen sich bewe Es kommt nun alles darauf an, ein genaues Mafs für d Stärke des elektrischen Stromes zu haben, um so den Zusa menhang der Verschiedenheit der Umstände, welche in d Construction der Säule möglicher Weise gegeben sind, n der Abänderung in dieser Stärke selbst richtig würdigen können. Ein solches Mafs bieten die verschiedenen Wirku gen dar, die von diesem Strome abhängen und die na Verschiedenheit seiner Stärke selbst dem Grade nach verschi den ausfallen. Diese Wirkungen sind die *chemische*, *physiologische*, die *Wärmeerscheinungen* und die *magne schen*. Die drei ersteren sind aber theils von so veränder chen nicht immer genau bestimmbaren mitwirkenden Umstä den abhängig, theils in ihrer Anwendbarkeit so beschrän dafs man sie nicht wohl zu einem solchen Mafse gebrauch kann, und um so weniger, da es wenigstens für die Grö der physiologischen und selbst der chemischen keinen ganz g nauen Mafsstab giebt. Dagegen vereinigen die *elektrom gnetischen* Wirkungen, auf gehörige Weise angewandt, a Bedingungen hierzu in sich, nämlich Vergleichbarkeit, Em pfindlichkeit, Schärfe und weit reichenden Umfang der An zeigen. Es könnte gegen die Anwendung derselben als Maf stab für die Stärke des elektrischen Stromes der Einwurf e hoben werden[1], ob auch Gesetze, die mittelst elektromagn tischer Apparate für die Säule sich ergeben haben, eine Ü bertragung auf andere Wirkungen als eben elektromagnet sche erlauben. Es setzt nämlich dieses voraus, dafs die Kra des Stromes eine einzige und identische sey, die nur na der Beschaffenheit der Körper, auf die sie wirkt, verschiede artige Wirkungen hervorbringt, wogegen denkbar wäre, da dem Strome Kräfte zukommen, die ihrem Wesen nach verschi den sind, mithin auch durch verschiedene Einflüsse in verschi denem Grade verstärkt oder geschwächt werden können, v dann jede dieser Wirkungen nur durch sich selbst gemess werden könnte. Wirklich haben früher auch einige Physik

1 Fechner a. a. O. S. 6.

Digitized by Google

einer solchen Annahme Gehör gegeben, und namentlich hat Ritter durch das in so manchen Stücken abweichende Verhalten der grofsplattigen Säulen, verglichen mit den kleinplattigen, in Rücksicht auf die Stärke der von ihnen abhängigen Schläge in Vergleichung mit der Wärmeerzeugung (Glühen von Metalldrähten) und den chemischen Zersetzungen, worüber noch unter dem Artikel der *secundären Säule* einige Beobachtungen Ritter's mitgetheilt werden sollen, verleitet angenommen, dafs die physiologischen Wirkungen von andern Umständen abhängen, als die übrigen. Hierzu kommen die von uns unter dem Artikel *Galvanismus* angeführten Versuche De la Rive's [1], welche diesem Physiker es nicht unwahrscheinlich machten, dafs der elektrische Strom gleichsam aus zwei Factoren bestehe, welche in ihren Leitungsverhältnissen sich verschieden verhalten, und von welchen dann auch vorausgesetzt werden könnte, dafs sie selbst nach Verschiedenheit der Umstände in einem verschiedenen quantitativen Verhältnisse gegen einander stehn und auf eine verschiedene Weise an den Wirkungen der Volta'schen Säule Antheil haben könnten, und in dem Verfolge unserer weitern Erörterung wird das Resultat immer deutlicher hervortreten, dafs der elektrische Strom die identische Ursache für die verschiedenen Wirkungen sey, die von der Volta'schen Säule abhängen, und dafs diese in dem Verhältnisse seiner Stärke gleichmäfsig wachsen.

Es läfst sich die Stärke des elektrischen Stroms vermittelst seiner elektromagnetischen Wirkungen auf verschiedene Weise messen und in genauen Mafsbestimmungen vergleichen, einmal durch die Gröfse der Ablenkung einer Magnetnadel aus ihrer normalen Lage, dann durch den Widerstand der Torsion, welche eine an einer Coulomb'schen Torsionswage aufgehängte Magnetnadel bei ihrer Ablenkung überwindet oder mit dem sie ins Gleichgewicht getreten ist, am bequemsten aber durch die Zahl des Oscillationen, welche in einer gegebenen Zeit eine durch die gleichzeitige Wirkung des elektrischen Stromes und durch den Erdmagnetismus in ihrer normalen Lage erhaltene und aus dieser abgelenkte Nadel macht, um in ihre vorige Lage zurückzukehren. Letztere Methode

---

1 §. 102. S. 966.

Digitized by Google

läfst die gröfste Schärfe zu und ist das empfindlichste Re gens, um auch die kleinste Modification in der Stärke d elektrischen Stromes noch anzuzeigen. Die Anwendung di ser letztern Methode beruht auf folgendem Principe. Wi eine horizontale frei aufgehangene Magnetnadel, die sich der Richtung des magnetischen Meridians befindet, daraus a irgend eine Weise abgelenkt und dann der Wirkung der Kräf die sie in ihre Richtung zurückzuführen streben, wieder übe lassen, so kehrt sie der Erfahrung zufolge durch eine Rei von Oscillationen zurück. Die Kraft, welche die Nadel die Lage des Gleichgewichts zurückzuführen strebt, ist pr portional dem Quadrate der Anzahl von Oscillationen, welc von derselben Nadel in derselben Zeit vollbracht werden, ode was dasselbe ist, umgekehrt proportional dem Quadrate d Anzahl Zeittheile, welche zur Vollbringung einer gleichen An zahl von Schwingungen erforderlich sind. Um nach diese Principe jenen Mafsstab zur Bestimmung der Stärke des elek trischen Stromes anzuwenden, lasse man die im Multiplicat hängende Magnetnadel, nachdem man den Multiplicator s gestellt hat, dafs der durch die Windungen desselben gehend elektrische Strom der Nadel keine Ablenkung von ihrer nor malen Lage beizubringen vermag, sondern vielmehr bestrel ist, sie in dieser Lage zu erhalten, erst allein durch den Ein flufs der magnetischen Erdkraft oscilliren, zu welchem Zwek ke man die Nadel durch ein Eisen- oder schwaches Magnet stäbchen aus ihrer Richtung abgelenkt hat und dann schnel dasselbe entfernt, und zähle nach dem Schlage einer gute Pendeluhr oder nach einer guten Secundenuhr mit stehende Secunden die Zeittheile, welche die Nadel gebraucht, ein gewisse Anzahl von Oscillationen zu vollbringen, indem ma sich innerhalb der Grenzen von so kleinen Elongationen de Schwingungen hält, als sich mit einem merklichen Isochronis mus derselben noch verträgt. Durch diese erste Zählung er hält man das Mafs der Kraft, mit welcher der Erdmagnetis mus auf die Nadel wirkt. Hiernächst läfst man den mit de Schliefsung der Kette eintretenden elektrischen Strom durch die Windungen des Multiplicators gehn und zählt wie vorhin die Anzahl der Zeittheile, welche die Nadel gebraucht, um unter dem vereinigten Einflusse der Erdkraft und der Kraft des elektrischen Stromes dieselbe Anzahl von Schwingungen zu

Digitized by Google

vollbringen, als vorher unter dem Einflusse der Erde allein. Auf diese Weise wird man das Mafs für die Summe der Kräfte erhalten, mit welcher die Erde und mit welcher der Strom auf die Nadel wirken, und zieht man von dieser Summe die durch den vorhergegangenen Versuch gefundene Kraft der Erde ab, so erhält man dadurch das Mafs der Kraft, mit welcher der elektrische Strom allein auf die Nadel wirkt. Erfordert z. B. die Nadel zu 20 Oscillationen unter dem Einflusse der Erdkraft 100 Zeittheile, so ist das Mafs der Erdkraft $\frac{1}{10000}$ oder 0,0001, weil 10000 das Quadrat von 100 ist und die Kraft sich diesem Quadrate umgekehrt proportional verhält. Gesetzt die Nadel erforderte unter dem vereinigten Einflusse der Erdkraft und des elektrischen Stromes nur 50 Zeittheile zu 20 Oscillationen, so wird das Mafs für die Summe beider Kräfte seyn $\frac{1}{2500}$ oder 0,0004; wenn man mithin das erstere Mafs von dem letztgefundenen abzieht, so erhält man für das Mafs der Kraft des Stroms allein $\frac{1}{2500} - \frac{1}{10000}$ oder 0,0004 — 0,0001, also 0,0003. Mithin verhält sich die Kraft, mit welcher der elektrische Strom allein auf die Nadel wirkt, zur Erdkraft = 3 : 1. Gesetzt die Nadel gebrauche nun unter dem Einflusse eines andern Stromes 30 Zeittheile zu 20 Oscillationen, so ist das Mafs für die Kraft des Stromes allein $\frac{1}{900} - \frac{1}{10000}$, d. i. 0,00101, mithin verhält sich die Kraft des zweiten Stromes zu der des ersteren wie 10,1 : 3. Zweckmäfsig ist es, in jedem Falle die Kraft der Erde als Einheit zum Grunde zu legen und hiermit dann alle verschiedene Stromkräfte zu vergleichen, welches durch Anwendung der nachfolgenden Formel sehr erleichtert wird.

Die Anzahl der Zeittheile, welche die Nadel zur Vollbringung einer gewissen Anzahl Schwingungen unter dem bloßen Einflusse des Erdmagnetismus erfordert, heifse N, die Zahl der Zeittheile, die sie unter dem vereinigten Einflusse der Erdkraft und des Stromes gebraucht, heifse N′, dann ist das Mafs der Kraft des Stromes

$$\frac{1}{N'^2} - \frac{1}{N^2} = \frac{N^2 - N'^2}{N^2 \times N'^2},$$

oder, wenn man die Kraft der Erde als Einheit setzt,

$$= \frac{N^2 - N'^2}{N'^2}.$$

Digitized by Google

Wendet man statt einer einfachen Nadel eine vollkomm astatische Doppelnadel an, und wird sie so gestellt, dafs d Einflufs des Stroms sie in derselben zu erhalten strebt, so giebt d umgekehrte Verhältnifs des Quadrats der Anzahl der Zeittheil in welcher eine gleiche Anzahl von Schwingungen unter de Einflusse verschiedener elektrischer Ströme vollbracht wir unmittelbar das Mafs der Stärke dieser elektrischen Ströme.

Wenn man die Abänderungen in der Stärke des elekt schen Stromes, wie sie von den Abänderungen der hydr galvanischen Apparate abhängen und wie sie sich durch d eben angegebene Mafs am genauesten bestimmen lassen, richtigen Zusammenhang mit den Abänderungen in den E scheinungen bringen will, welche in allen Gliedern, die den Kreis der geschlossenen Kette eintreten, vorkommen u welche besonders in demjenigen Gliede auftreten, das die be den Pole einer vorher offenen Volta'schen Säule mit einand verbindet und die Kette, wie man sagt, schliefst, so müss folgende zwei Gesetze als Leitsterne dienen, durch welc eine Menge scheinbarer Anomalieen in Einklang mit einand kommen und manche Mifsverständnisse und falsche Erklärunge beseitigt werden.

1) Wenn die Wirksamkeit irgend eines Theiles der Säul (und überhaupt einer galvanischen Kette) zunimmt oder ab nimmt, dadurch dafs man die elektromotorische Kraft oder da Leitungsvermögen an irgend einer Stelle vermehrt oder ver mindert, so nimmt die Wirksamkeit aller übrigen Theile de geschlossenen Säule in einem entsprechenden Grade zu ode ab, oder mit andern Worten: die Verstärkung oder Schwä chung des elektrischen Stromes, die durch Abänderung de Leitungsvermögens in irgend einer Stelle der geschlossene Säule veranlafst wird, erstreckt sich gleichmäfsig auf alle Theil der Säule.

Man überzeugt sich von der Wahrheit dieses Gesetzes in Allgemeinen leicht dadurch, dafs man an verschiedenen Stelle in die Säule Multiplicatoren mit dazu gehörenden Magnetna deln oder Gasentbindungsröhren aufnimmt. Man wird dann finden, dafs jede an irgend einer Stelle geschehene Abände rung eine gleiche Zu- oder Abnahme der Wirkung, insofern sie durch Oscillationen der Magnetnadel in den verschiedene Multiplicatoren oder durch die Stärke der Gasentbindung in

Digitized by Google

den verschiedenen Gasröhren erkennbar und mefsbar ist, in diesen verschiedenen Apparaten zur Folge hat.

2) Das zweite Gesetz läfst sich so ausdrücken: Die Gesammtquantität von Elektricität, welche durch jeden Querschnitt der Säule, der senkrecht durch die Richtung des Stromes geht, in derselben Zeit hindurch strömt, ist in der ganzen Länge der Säule gleich grofs und unabhängig von der besondern relativen Beschaffenheit oder Gröfse jedes Querschnittes.

Dieses Gesetz ist eine nothwendige Folge des Begriffes eines in sich zurückkehrenden Stromes und bestätigt sich unmittelbar durch die Erfahrung, dafs abgesehn von der der Schliefsung der Kette zunächst angehörigen Wirkung, welche für den ersten Augenblick allerdings ein gewisses Maximum zeigt, die fortdauernde Wirkung, sey es Gasentwickelung in der Gasentbindungsröhre, oder Ablenkung der Magnetnadel, oder Zahl der Oscillationen der Magnetnadel in einer gegebenen gleichen Zeit, oder Glühen von Metalldrähten, so lange die Säule in sich selbst keine merkliche Veränderung erlitten hat, was freilich, in der gröfsten Strenge genommen, für keine in Wirksamkeit gesetzte Säule auch nur für eine sehr kurze Zeit gültig ist, ihrer Gröfse nach unverändert bleibt.

3) Das dritte Gesetz, welches ein unmittelbares Corollarium des zweiten ist, kann so ausgedrückt werden:

In jeder Volta'schen Säule, in welcher in Folge der Schliefsung ein fortdauernder elektrischer Strom eingeleitet ist, verhalten sich die Intensitäten des Stromes in jedem Theile der geschlossenen Säule umgekehrt wie die Querschnitte dieser Theile senkrecht auf die Richtung des Stromes genommen.

Diese verschiedene Intensität bei gleicher Quantität ist es vorzüglich, welche bei Beurtheilung mancher Wirkungen in Betracht kommt, namentlich der Wärmeerzeugung, wie wir bei dem Phänomene des Metallglühens noch näher auseinander setzen werden. Diese *Intensität* des *Stromes* darf jedoch nicht mit der *Intensität* der *Elektricität* in der noch ungeschlossenen Säule, d. h. mit der *polaren Spannung* verwechselt werden, letztere hängt von der Menge der freien, ungebundenen und nicht mit ihrem Gegensatze im Acte der Ausgleichung begriffenen Elektricität ab und ihr Mafs ist die Repulsivkraft, welche die Theilchen derselben auf sich selbst

Digitized by Google

ausüben, die durch das Elektrometer gemessen wird, dage
beruht die Intensität des Stromes auf der Quantität der e
gegengesetzten Elektricitäten, die sich in jedem Augenbli
in einem kleinsten Theile des Raumes oder an einem kle
sten Theile eines Körpers mit einander ausgleichen und e
in dieser Ausgleichung ihre elektrometrische Aeufserung v
lieren. Die mit dem Quantum dieser Ausgleichung gleic
Schritt haltenden Wirkungen, magnetische und Wärmeer
gung, geben hier das Mafs. Nur derjenige Ueberschufs
Elektricität, der wegen zu grofsen Widerstandes des Lei
am Strömen verhindert wird, kann noch als freie Elek
cität, die durch das Elektrometer erkennbar ist, auftreten,
je gröfser dieser Ueberschufs, d. h. je gröfser die Intens
(Spannung) der gleichsam ruhenden Elektricität ist, um
geringer ist die Intensität des Stromes und die Intensität a
derjenigen Wirkungen, die von dem Strome als solchem o
von dem Quanto der entgegengesetzten Elektricitäten, die s
in jedem Augenblicke in einem kleinsten Theilchen des R
mes ausgleichen, abhängen. Wollte man den elektrisch
Strom mit dem Strome einer gewöhnlichen nicht zusamm
drückbaren Flüssigkeit vergleichen, so würde die Intens
des elektr. Stromes durch die Geschwindigkeit auszudrück
seyn, welche derselbe in jedem kleinsten Theilchen
Raums hat, wonach sich eben die Menge der Theilchen ri
tet, die in einer gegebenen Zeit durch einen kleinsten Th
des Raumes hindurchgehn, und welche im umgekehrten V
hältnisse der Gröfse des auf die Richtung des Stromes se
rechten Durchschnittes steht. Insofern jedoch die Elektric
als eine elastische und verdichtbare Flüssigkeit anzusehn
so würde diese Intensität vielmehr im Verhältnisse der Di
tigkeit der sich in jedem kleinsten Raumestheile ausgleichend
Elektricitäten stehn. Hält man sich jedoch zunächst nur
die von dem elektr. Strome abhängigen Wirkungen, so ka
man die Gröfse oder *Quantität* desselben als die *Gesamm
kraft* erklären, mit welcher ein Durchschnitt der geschlos
nen Kette wirkt, die *Intensität* aber als die *relative* Kr
mit welcher jeder einzelne Theil des Durchschnittes wirkt.

Wendet man einen der Mafsstäbe für die Stärke des ele
trischen Stromes an, wozu sich der von der Zahl der Osc
lationen der Magnetnadel hergenommene am besten eign

Digitized by Google

so überzeugt man sich bald, dafs es immer nur zwei Momente sind, welche auf diese Stärke ihren Einfluſs äufsern und mit deren Abänderungen die Abänderungen desselben gesetzmäfsig verknüpft sind, einerseits die elektromotorische Kraft, als die nächste oder wirkende Ursache des elektrischen Stromes, und das Leitungsvermögen der Glieder, welche in den Kreis der geschlossenen Säule eingehn, als die bedingende oder vermittelnde Ursache. Die elektromotorische Kraft hängt, wie schon früher (unter dem Artikel *Galvanismus*) erörtert worden ist, einmal von der besondern elektromotorischen Kraft des einzelnen Elements oder von dem elektrischen Spannungsunterschiede ab, welchen bei der gewöhnlichen Art der Construction der hydroelektrischen Säule aus zwei heterogenen Metallen und einem feuchten Leiter die Berührungsflächen zwischen dem feuchten Leiter und den heterogenen Metallen, wenn sie zur Kette geschlossen gedacht werden, zeigen, und dann von der Summe aller elektromotorischen Kräfte der einzelnen Elemente, die zur Säule vereinigt sind. Diese Summe wächst, wie die Versuche über die elektroskopischen Erscheinungen der Säule gelehrt haben, im geraden arithmetischen Verhältnisse der Zahl der gleichartigen Elemente, die zur Säule mit einander vereinigt sind; die elektromotorische Gesammtkraft ist also bei allen gleichartig gebauten Säulen stets das Product aus der elektromotorischen Kraft des einzelnen Elements in die Zahl der Elemente und ihr Mafs ist die freie elektrische Spannung der Pole der ungeschlossenen Säule. Den Einfluſs des zweiten Moments des Leitungsvermögens sämmtlicher Glieder, welche in den geschlossenen Kreis der Säule eingehn, betreffend kann man diesen Einfluſs als einen Widerstand betrachten, der um so geringer ausfällt, je gröfser das Leitungsvermögen dieser Glieder ist. Jeder Versuch, am genauesten mit der Magnetnadel mit Hülfe des Multiplicators, belehrt uns nämlich, dafs die Einschiebung irgend eines neuen Leiters, sey er auch von der vollkommensten Art, in den Kreis der Säule, so zwar, dafs dadurch die Säule selbst verlängert, aber nicht etwa an der Stelle der Einschiebung erweitert wird, keine Verstärkung, sondern vielmehr in allen Fällen eine Schwächung des Stromes zur Folge hat. Auch ist unter dem Artikel *Leiter der Elektricität* näher nachgewiesen worden, dafs auch die vollkommensten Leiter doch noch einigen Widerstand der

Elemente entgegensetzen. Es gewährt auch eine viel bess Uebersicht aller Erscheinungen, wenn man das Leitungsv mögen als Leitungswiderstand in Rechnung bringt, der da jedesmal im umgekehrten Verhältnisse dieses Leitungsvern gens selbst steht.

Dieser Leitungswiderstand, um in seinen Folgen rich gewürdigt zu werden, darf nie blofs in einem einzelnen Gl de, sondern er mufs in der Gesammtheit aller Glieder auf fafst werden. Man kann in dieser Hinsicht für die gewöh liche Art, die Versuche anzustellen, den Leitungswiderstand der Säule selbst von dem Leitungswiderstande in dem schl fsenden Bogen, auf welchen eigentlich die Wirkung Säule zunächst hingerichtet ist, unterscheiden. Demnächst was die verschiedene Natur der Glieder der Säule b trifft, der Widerstand in den festen und flüssigen Theilen b sonders in Betracht zu ziehn und aufserdem noch der W derstand, welcher bei dem Uebergange von festen zu flüssig und von flüssigen zu festen Körpern statt findet, da die kein Continuum, sondern nur ein Contiguum bilden. In d Lehre von dem Leitungsvermögen der Körper für Elektrici ist sowohl für die festen als flüssigen Leiter streng nachg wiesen worden, dafs der *Leitungswiderstand* derselben wächt mit ihrer Ausdehnung in die Länge oder im geraden Verhäl nisse mit derselben, dafs er abnimmt mit Zunahme des Durc schnitts derselben oder im umgekehrten Verhältnisse mit der selben steht. In der Volta'schen Säule kommt dieser Durch schnitt auf eine doppelte Weise bei den flüssigen Leitern Betracht, nämlich in ihrer Berührungsfläche mit den fest Leitern und dann in ihnen selbst. In Rücksicht auf den er stern Umstand hat man die Oberfläche der Metalle, die a die eigentlichen Elektromotoren in Betracht kommen, so we sie mit dem flüssigen Leiter in Berührungsconflict kommt, d *erregende Oberfläche* genannt, und in Betreff der erregende Oberfläche würde demnach der Leitungswiderstand abnehmen seyn mit der Vergröfserung dieser erregenden Oberfläche od die Stärke des elektrischen Stromes unter sonst gleichen Um ständen als wachsend mit der Gröfse der erregenden Oberflä che zu betrachten seyn. Diese Verhältnisse gelten für all flüssige und feste Leiter auf gleiche Weise. Dann kommt abe noch die besondere von der Qualität und Temperatur de

Digitized by Google

Körper abhängige Leitungsfähigkeit in Betracht, die bei den ungeheuren gradativen Verschiedenheiten, die in dieser Hinsicht statt finden, einen noch viel gröfsern Einfluſs äufsert, als die gewöhnlich bei Volta'schen Säulen vorkommenden Abänderungen in dem Durchschnitte und in der Längenausdehnung der Leiter, in welcher Hinsicht der Artikel *Leiter* zu vergleichen ist, wo auch der Einfluſs der Temperatur auf das Leitungsvermögen näher angegeben wurde.

Noch kommt aber bei Berechnung des Leitungswiderstandes der Widerstand der Elektricität beim Uebergange von einem Gliede der Säule in das andere ganz vorzüglich in Betrachtung. Wir haben mehrere der hierauf bezüglichen Erscheinungen bereits unter dem Artikel *Galvanismus* mitgetheilt[1]. Viele Erscheinungen setzen es aufser allen Zweifel, daſs die Elektricität bei ihrem Uebergange von einem Körper in den andern, besonders aber beim Uebergange von starren in flüssige, einen bedeutenden Widerstand findet. Wenn die Continuität eines flüssigen durch Interpolation von starren Leitern, die an und für sich betrachtet ohne Vergleich viel bessere Leiter, als dieser selbst, sind, unterbrochen wird, so wird die Stärke des elektrischen Stroms auffallend geschwächt, und um so mehr, je häufiger diese Interpolation sich wiederholt. Es zeigen sich aber hierbei noch besondere Gesetze, welche für die Beurtheilung der Thätigkeitsgröfse der verschiedenen Volta'schen Apparate von Wichtigkeit sind. Diese Versuche haben nämlich bewiesen, daſs dieser Uebergang bei sonst gleichen Umständen um so schwieriger ist und also der elektrische Strom um so mehr dadurch geschwächt wird, je näher der starre metallische Leiter in der galvanischen Spannungsreihe dem negativen Ende steht und je weniger der starre Leiter mit der Flüssigkeit einen chemischen Conflict eingeht. Diese Verschiedenheit kann bis auf einen hohen Grad durch Vergröfserung der Berührungsfläche des negativen und chemisch nicht oder nur schwach erregbaren starren Leiters mit dem flüssigen verhältnifsmäſsig vergröfsert werden. Es kommt aber dabei noch ein höchst merkwürdiges Verhältnifs in Betracht, in welchem der Schlüssel zur richtigen Erklärung der

1 Vgl. §. 36. S. 667. §. 40. S. 678. Vorzüglich §. 62. S. 812. §. 90. S. 916. §. 102. S. 972.

Verstärkung des elektr. Stroms durch Vervielfältigung der E
mente in der Säule zu liegen scheint. Gerade so wie n
De la Roche's und Prevost's Versuchen die Wärme b
Uebergange aus einem durchsichtigen Medium (Luft) in ein
deres (Glas) und Fortgange durch dasselbe a) in dem Verh
nisse weniger Schwächung erleidet, in welchem ihre ursprü
liche Spannung gröfser ist, b) bei wiederholtem Ueberga
und Durchgange die Schwächung immer geringer ist, ger
ebenso erleidet nach De la Rive's Versuchen[1] a) der ele
Strom um so weniger Schwächung, je gröfser die ursprün
che Spannung der Elektricität ist, die in Bewegung ges
wird, d. h. aus je mehr Elementen die Säule besteht, b) u
um so weniger Schwächung, je öfter schon dieser Ueberg
und Durchgang statt gefunden hat.

Es ist aber noch eine bemerkenswerthe Thatsache, d
alle vorbenannte Umstände, von welchen der Leitungswid
stand in der galvanischen Kette überhaupt und insbesondere
der Volta'schen Säule abhängt, keineswegs unter allen V
hältnissen in gleichem Mafse zur Schwächung des Stroms w
ken. So kann derselbe Zwischendraht, wenn er in die e
Kette eingebracht wird, die Wirksamkeit um ein Vielfac
schwächen, während er in eine andere Kette gebracht ke
auch durch die empfindlichste Magnetnadel wahrnehml
Schwächung hervorbringt. Es giebt jedoch einen ganz all
meinen Gesichtspunct, unter welchem sich alle diese versch
denen Fälle vereinigen lassen, einen Gesichtspunct, auf w
chen zuerst Ohm hingewiesen hat und der sich auf das Dur
greifendste in der Erfahrung bestätigt. Dieser Gesichtspu
läfst sich in folgendem Gesetze aussprechen.

a) Der Leitungswiderstand irgend eines Theils der
schlossenen Kette überhaupt und also der geschlossenen Sä
insbesondere verliert um so mehr an Einfluss zur Schwächu
der Wirksamkeit, je kleiner er im Verhältnisse zum Leitun
widerstande der übrigen Theile der Kette oder Säule ist o
je mehr er dagegen verschwindet.

b) Umgekehrt trägt Verminderung des Leitungswid
standes irgend eines Theils der Kette und Säule oder, was d
selbe ist, Erhöhung seines Leitungsvermögens in einem

1 Vergl. *Galvanismus* Bd. IV. S. 967 ff.

Digitized by Google

stimmten Verhältnisse um so mehr zur Verstärkung der Kraft der Kette überhaupt und der Säule insbesondere bei, je gröfser dieser Leitungswiderstand im Verhältnisse zum Leitungswiderstande der übrigen Theile der Kette oder Säule ist.

Wenn man zugleich auf den eigentlichen positiven Faetor in der Hervorbringung und Unterhaltung des elektrischen Stroms, nämlich die elektromotorische Kraft, Rücksicht nimmt, so ergiebt sich für die Stärke des Stroms unter allen Umständen und unter Berücksichtigung aller Bedingungen, die darauf influiren, der ganz allgemeine Ausdruck: die Kraft der geschlossenen Volta'schen Säule oder, was einerlei ist, die Stärke ihres elektrischen Stroms ist der gesammten elektromotorischen Kraft, die in ihr wirksam ist, direct, dem Leitungswiderstande aller ihrer Theile zusammengenommen aber umgekehrt proportional oder wird dargestellt durch den Quotienten der elektromotorischen Kraft dividirt durch den Gesammtleitungswiderstand aller Theile und läfst sich also, wenn man K die Kraft des Stroms, A die in der Säule wirksame elektromotorische Gesammtkraft und L den Gesammtleitungswiderstand aller Theile nennt, durch die Formel $K = \frac{A}{L}$ ausdrücken, eine Formel, die mannigfaltige Entwickelungen zuläfst, wie in der Folge sich noch aus einzelnen Beispielen ergeben wird.

Was nun den relativen Werth der von uns unter der ersten Rubrik beschriebenen Volta'schen Apparate betrifft, so kommt in dieser Hinsicht nicht blofs die nach den hier eben aufgestellten Grundsätzen zu bestimmende Stärke ihrer Wirksamkeit in Betracht, sondern es müssen auch noch andere Verhältnisse der Bequemlichkeit, Wohlfeilheit u. s. w. mit berücksichtigt werden. Die gröfsten Wirkungen hat man unstreitig durch die Zellen- und Trogapparate hervorgebracht. Sie haben vor den gewöhnlichen Volta'schen Säulen den entschiedenen Vorzug, dafs der Leitungswiderstand in dem feuchten Leiter bei ihnen weit mehr vermindert und also durch Verminderung des L in der Formel $K = \frac{A}{L}$ der Werth von K bei gleichbleibendem A weit mehr erhöht werden kann. In allen gewöhnlichen Volta'schen Säulen tritt in der feuchten Pappe oder Tuchscheibe neben der leitenden Flüssigkeit stets

Digitized by Google

ein sehr isolirendes Element, nämlich die Leinwand, Bau
wollen- oder Wollenfaser mit in den Kreis, und bei gleic
scheinbarer Berührungsfläche zwischen den Metallen und
feuchten Leitern, wie in den Zellen- oder Trogapparaten
gleicher Oberfläche, ist doch die wahre Berührungsfläche
dem flüssigen Leiter viel kleiner. Dabei haben die vertica
Volta'schen Säulen den grofsen Nachtheil, dafs sich lei
eine Schicht Wasserstoffgas unter den Kupferplatten ansa
meln kann, die, wenn sie auch nur eine Dicke von 0,01
nie haben sollte, den Durchgang des Stroms gänzlich zu
terbrechen und, wenn sie auch nicht die ganze Oberfläche
Kupferplatte einnimmt, doch denselben auffallend zu schwäch
vermag, daher das oft sprungweise statt findende Zunehmen
Wirkung einer Volta'schen Säule, wenn etwa das Gas, sob
es bis auf einen gewissen Grad sich angesammelt hat, seitw
entweicht. Ein anderer Nachtheil, den die gewöhnliche V
ta'sche Säule darbietet, ist die sich fixirende Trennung
Laugensalzes und der Säure bei Anwendung von Salzen,
mentlich von Kochsalz, Salmiak u. dgl., wovon sich
erstere an der Oberfläche der Kupferplatte, die letztere
Zinke ansammeln und durch eine davon abhängige, in e
gegengesetzter Richtung wirkende, elektromotorische Thät
keit, indem das Laugensalz mit dem Kupfer eine positive,
Säure mit dem Zinke eine negative Spannung eingehn,
Strom schwächen. Diese Trennung kann man in den Tr
und Zellenapparaten durch Umrühren der Flüssigkeit stets w
der aufheben. Auch wird eine Fixirung der dem Strome
sehr hinderlichen Oxydschicht an der Oberfläche des Zi
weniger leicht in diesen letztern Apparaten eintreten, weil e
freiere Bewegung aller Theilchen in der reinen Flüssigkeit
in der durch die Papp- oder Tuchscheibe gleichsam fixir
Flüssigkeit statt findet. Auch stehn die gewöhnlichen Vol
schen Säulen in denjenigen Fällen den Trog- und Zellen
paraten nach, wo man sehr rasch einen kräftigen elektrisch
Strom in Bewegung setzen will, z. B. zur Wiederbelebung
Fällen von Scheintod, indem man bei angemessenen Vorri
tungen einen mächtigen Trog- oder Zellenapparat viel schn
ler in Wirksamkeit setzen kann, als eine Volta'sche Säule
gleicher Wirksamkeit, deren Aufbauen immer etwas umstä
lich ist. Dagegen bieten die gewöhnlichen Säulen den grof

Digitized by Google

Vortheil dar, dafs man sie in jeder beliebigen Anzahl von Plattenpaaren mit der gröfsten Bequemlichkeit in Anwendung bringen, nach Belieben dieselben Metallplatten zu grofsplattigen Säulen von wenigen Abwechselungen oder zu kleinplattigen von vielen Abwechselungen verwenden kann. Die Reinigung der Platten bei einer gewöhnlichen Volta'schen Säule kann auch viel vollkommener und leichter geschehn, als bei jedem andern galvanischen Apparate.

Was das Verhältnifs der Trog- zu den Zellenapparaten betrifft, so finde ich nach meinen Versuchen bei gleicher Metalloberfläche und Zahl der Plattenpaare die Zellenapparate aus Trögen von Mahagoniholz, innerlich mit einem Kitte aus Harz und Wachs ausgegossen, wirksamer als die gewöhnlichen Trogapparate mit Trögen von Steingut, wie sie aus England kommen. Es scheint die Masse des Steinguts offenbar als ein Halbleiter zu wirken und um so mehr partielle Ausgleichung herbeizuführen und dem Polarstrome zu entziehen, je gröfser die Oberfläche ist, mit welcher die Wandung mit der Flüssigkeit in Berührung kommt. Auch Schweigger[1] bemerkt, dafs die Porzellantröge nicht das leisten, wes man sich von ihnen verspricht, besonders wenn man die saure Flüssigkeit in ihnen stehn lassen will. Aufserdem sind die Tröge zu breit und erfordern zu viel Flüssigkeit, die gar nicht in Wirksamkeit tritt, da eigentlich nur derjenige Theil der Flüssigkeit, der zwischen der Zinkplatte und der sie umgebenden Doppelplatte von Kupfer und zunächst an ihrer vom Zinke abgewandten Oberfläche befindlich ist, zur Leitung dient. Dagegen beruht ein grofser Vortheil der Trogapparate vor den Zellenapparaten darin, dafs die Kupferplatte in einer doppelt so grofsen Oberfläche, wie das Zink, angewandt werden kann und dafs die ganze metallische Oberfläche mit der Flüssigkeit in Berührung kommt, während bei den Zellenapparaten die Oberflächen beider Metalle einander gleich seyn müssen, auch für die Ueberführung des Stroms in die Flüssigkeit die eine Oberfläche der Metallplatten gänzlich verloren geht.

Die *Kastenapparate* habe ich nicht so wirksam gefunden, als man nach Oersted's Angabe hätte erwarten sollen. Dafs hierbei, wenn man von den schmalen Seiten des Kastens ab-

---

1 Dessen Journal XX. 206.

sieht, eigentlich die gleiche Oberfläche des negativen u positiven Metalls mit der Flüssigkeit in Berührung komn dafs ferner die ganze äufsere Oberfläche des Kupferkaste aufser Thätigkeit bleibt und dafs dadurch die Kosten des A parats unnützer Weise vermehrt werden, dient nicht zur Er pfehlung desselben. Auch nimmt die Aufstellung der Kast viel Platz weg, ihre Isolirung erfordert überdiefs ein eigen auch mit Kosten verbundenes Gestell. Daher sind diese K stenapparate nie sehr in Gang gekommen. Ritter's Schü selapparate schlossen die partielle Ausgleichung nicht gen aus. Erdmann's und Hauff's Apparate sind mehr in the retischer als praktischer Hinsicht interessant. Dasselbe g auch von Kemp's Säulen mit flüssigen Metallen.

C. Verschiedenes Verhalten der ver schiedenen Volta'schen Apparate in Rück sicht auf die drei Hauptclassen von Wir kungen, die von ihnen abhängen, und Er klärung dieser Verschiedenheit aus de unter II. aufgestellten Grundsätzen.

AA. Wärmeerzeugung, Erglühen und Schme zen von Metalldrähten durch die Volta schen Apparate.

Wir haben diesen Gegenstand schon unter dem Artik *Galvanismus*[1] erörtert und insbesondere die Gesetze für d Gröfse der Wärmeerzeugung durch die Volta'sche Säule a den damals bekannten Versuchen abzuleiten, auch die Erkl rung dieser Gesetze aus den Modificationen des elektrische Stromes durch verschiedene Umstände zu geben versuch Seitdem haben De la Rive[2] und Ohm[3] über diesen Gege stand mehr Licht zu verbreiten gesucht. De la Rive glau durch eine Zusammenstellung mehrerer Erscheinungen den Be weis führen zu können, dafs es eigentlich der Widerstan

1 S. Bd. IV. S. 689. §. 43. S. 921. §. 92.
2 Kastner's Archiv für die gesammte Naturlehre XVII. S. 170.
3 Ebendas. XVI. S. 1.

Digitized by Google

die Hemmung sey, welche der elektr. Strom in seiner Bewegung findet, an welche das Erglühen als an seine wesentliche Bedingung geknüpft sey. Dieser Widerstand vermindert ihm zufolge die Intensität oder Geschwindigkeit der Elektricität. Damit aber diese Verminderung überhaupt eine merkliche werde, müsse der Strom selbst eine gewisse Intensität haben, und daher dürfe der Widerstand in dem Leitungsdrahte nicht zu grofs seyn. Nur bei einer gewissen Länge werde daher das Glühen merklich werden und nicht eintreten, wenn diese Länge überschritten werde. Lasse man den Strom durch eine Reihe mit einander verbundener Drähte von gleicher Länge und Dicke, aber von ungleicher Leitungsfähigkeit gehn, so werden die Drähte der schlechter leitenden Metalle (Platin, Eisen) glühend, die der besser leitenden (Silber, Kupfer) nicht. Sind mehrere Drähte auch von homogenen Metallen unter einander verbunden, so wird es einen Strom von einer gewissen Stärke geben, wo nur die Berührungsstellen, an denen der gröfste Widerstand ist, glühend werden. Beim Uebergange in die Flüssigkeiten finde ein besonders grofser Widerstand statt, hier müfste sich also besonders viel Wärme entwickeln, allein die grofse Wärme-Capacität der Flüssigkeit und die Entbindung von Gasarten mache einen grofsen Theil der Wärme latent; doch finde immer noch Temperaturerhöhung statt, und um so mehr, je weniger Gas entbunden werde, also namentlich eine gröfsere am positiven Pole. Bei gleicher Oberfläche (die Oberfläche aller Platten zusammengenommen) sey die Wärmeerzeugung um so gröfser, je kleiner die Anzahl der Platten sey. Eine Säule von zwei Paar Platten von einem Quadratfufs Oberfläche mache Metalldrähte glühend, während 18 Plattenpaare mit einer Oberfläche von 16 Quadratzoll für jede Platte, wo also die Gesammtoberfläche beinahe dieselbe sey, denselben Draht nicht einmal heifs mache. Den Hauptunterschied dieser grofsplattigen Säulen von wenigen Abwechselungen und kleinplattiger Säulen mit vielen Abwechselungen, welcher ihre verschiedene Wirksamkeit in der Wärmeerzeugung bestimme, findet De la Rive mit Rücksicht auf das erste von ihm aufgestellte Princip darin, dafs man bei der Volta'schen Säule auf zwei Momente Rücksicht zu nehmen habe, auf die *Intensität* und die *Geschwindigkeit* des elektr. Stromes. Die Intensität soll von der Ober-

fläche und der Zahl der Elemente abhängen, die Geschwi
digkeit dagegen im umgekehrten Verhältnisse der Zahl d
Elemente stehn. Nun sey zur Wärmeerzeugung eine gewis
Geschwindigkeit nöthig, welche einen verhältnifsmäfsigen W
derstand überwinden müsse. Bei einer Säule von vielen Pla
tenpaaren sey die Geschwindigkeit so gering, dafs eben daru
auch der Widerstand nicht merklich werde. Sey daher d
Geschwindigkeit des Stromes schon auf einen kleinern Gr
herabgebracht, als sie es durch den Widerstand des Verbi
dungsdrahtes werden sollte, so werde in letzterem gar kei
Wärmeentwickelung statt finden. Doch könne man durch I
tensität den Mangel an Geschwindigkeit ausgleichen. So we
de eine Säule von 60 Plattenpaaren einen Draht glühend m
chen, allein die Verbrennung werde lange nicht so lebh
seyn, als wenn man nur 10 Platten derselben Säule nehm
Bei einem heterogenen unterbrochenen Leiter finde dageg
auch für eine Säule von vielen Plattenpaaren und ihre g
ringe Geschwindigkeit noch ein hinlänglicher Widerstand sta

Es bedarf keiner ausführlichen Auseinandersetzung, w
wenig diese Erklärungen und Unterscheidungen mit den rich
tigen Begriffen von dem Wesen der Elektricität und des elek
trischen Stromes in Einklang zu bringen sind und wie se
ihnen selbst die entscheidendsten Erfahrungen entgegenstehn
Im Artikel *Galvanismus*[1] ist ein Versuch von van Maru
und Pfaff angeführt worden, welchem zufolge gerade i
Widerspruche mit De la Rive eine Säule ZK von 32 Al
wechselungen von 5″ Seite eine viel gröfsere Wirkung i
Verbrennen und Schmelzen als eine Säule von 8 Abwechs
lungen und 10″ Seite hervorbrachte. Der Hauptirrthum De l
Rive's liegt aber offenbar darin, dafs er die Geschwindigk
blofs als ein einfaches Verhältnifs zum Leitungswiderstan
der Säule betrachtet, da sie doch offenbar ein zusammeng
setztes Verhältnifs der elektomotorischen Gesammtkraft, welc
einerlei mit der Intensität selbst ist, und des Leitungswide
standes ist. Die Intensität kann nur dadurch ihren Einflu
ausüben, dafs sie die Geschwindigkeit des Stromes bestim
und in dieser Hinsicht ihrer Zunahme nach in gleichem Sin
wirkt, wie die Zunahme der Berührungsfläche zwischen d

---

[1] Bd. IV. S. 928.

flüssigen Leitern und den Metallplatten. Auch ist es nicht ganz richtig, wenn De la Rive die Wärmeerzeugung mit dem Widerstande, den der Strom in seinem Durchgange erleidet, in eine unzertrennliche directe Beziehung bringt, da ja mit der Zunahme des Widerstandes, z. B. bei der Anwendung einer gröfseren Länge des Verbindungsdrahtes, die Wärmeerzeugung abnimmt und sehr bald ganz unmerklich wird. Vielmehr wird hierbei alles durch die Intensität des Stromes selbst in einem gegebenen Raume, deren Mafs wir bereits oben erörtert haben, bestimmt.

Befriedigend scheint uns dagegen Ohm[1] die bereits erfahrungsmäfsig constatirten Verhältnisse, nach welchen das Erglühen der Metalldrähte von den verschiedenen Einrichtungen der Volta'schen Apparate und den verschiedenen Bestimmungen des Verbindungsdrahtes selbst abhängt, aus den oben aufgestellten Grundsätzen abgeleitet zu haben. Er bemerkt zuvörderst, dafs, da bei der Anwendung verschiedener metallischer Drähte von gleicher Dicke und Länge und derselben Intensität des elektr. Stromes der eine Draht ins Glühen versetzt wird, der andere nicht, der Glühungszustand selbst von zwei wesentlich von einander verschiedenen Factoren abhängen müsse, nämlich 1) von der im Innern des Körpers herrschenden Intensität des elektrischen Stromes, 2) von einem der besondern Natur des Körpers angehörenden Coefficienten, der als Eins mit dem Coefficienten des Leitungsvermögens für Elektricität anzusehn ist, nach allen darüber vorliegenden Versuchen, besonders denen von Children. Bezeichnet man diesen Glühungscoefficienten mit X und die Intensität des elektr. Stromes mit I, so ist $\frac{I}{X}$ der Glühungszustand des Körpers, welchem I und X angehören. Um die oben aufgestellte Formel für die Intensität des elektr. Stromes bequemer anzuwenden, müssen die verschiedenen Leitungswiderstände in den verschiedenen Säulen, so wie verschiedenen Theilen derselben, nach einem genauen Mafsstabe mit einander vergleichbar gemacht werden. Dieses erreicht man dadurch, dafs man den Widerstand, den irgend ein Theil der geschlossenen Säule,

1 A. a. O. und Nachtrag zur ersten Abhandlung in Kastner's Archiv XVII. 432.

Digitized by Google

z. B. eine gewisse darin befindliche Drahtlänge, äufsert, a Einheit zu Grunde legt. Aeufsert dann ein beliebiger ande rer Theil der geschlossenen Säule z. B. einen dreifache vierfachen oder den halben Leitungswiderstand, als dies Drahtlänge, so wird man dann seinen Widerstand durch 3, oder durch $\frac{1}{2}$ ausdrücken können und man wird wirklich die sen Theil mit jenem Drahte von der dreifachen, vierfache oder halben Länge vertauschen können, ohne die Kraft d Stromes zu ändern. Ohm bedient sich defshalb für den a eine solche Einheit bezogenen Leitungswiderstand der Thei einer geschlossenen Kette des Ausdrucks: *reducirte Länge*, un die doppelte oder dreifache reducirte Länge haben heifs nichts anders, als einen Leitungswiderstand äufsern, welche der doppelte oder dreifache ist von dem als Einheit gesetz ten Widerstande, den eine gewisse bestimmte Länge irgen eines Theils von bestimmter Materie, Gestalt und Dicke äu fsert, sey es nun, dafs er sich in der Kette wirklich befind oder dafs er einen solchen äufsern würde, wenn man ihn in di Kette brächte. Durch Hülfe der Magnetnadel mit dem Multi plicator läfst sich nach der oben angegebenen Weise das Ver hältnifs irgend eines Widerstandes zu jener Einheit bestimmen

Heifst nun A die Summe aller Spannungen, L die Sum me aller reducirten Längen der Theile der Säule mit Ausnah me des durch sie zu erglühenden Drahtes und Δ die redu cirte Länge dieses Drahtes selbst, so ist $\frac{A}{L+\Delta}$ die Gröfs des elektr. Stromes der Säule nach Einführung des zu erglü henden Drahtes. Da die Intensität des elektr. Stromes im um gekehrten Verhältnisse der Gröfse des Querschnittes, durch wel chen der Strom sich ergiefst, steht, so wird, wenn Ω di Gröfse irgend eines Querschnittes der Säule darstellt, die zu die sem Querschnitte gehörige Intensität des Stromes $= \frac{A}{(L+\Delta)\Omega}$ seyn. Da ferner der Leitungswiderstand oder die reducirt Länge eines prismatischen Körpers gefunden wird, wenn ma die wahre Länge dieses Körpers durch seinen Querschnitt un sein Leitungsvermögen dividirt, so ist, wenn l die wah Länge, ω den Durchschnitt, x das Leitungsvermögen des z erhitzenden Drahtes bezeichnet, $\Delta = \frac{l}{x\,\omega}$, und also die i

Digitized by Google

dem Querschnitte von der Gröfse Ω befindliche Intensität des Stromes $= \frac{A}{\left(L + \frac{l}{x\,\omega}\right)\Omega}$, folglich da $\Omega = \omega$ ist, so ist die Intensität des Stromes in dem Leitungsdrahte

$$I = \frac{A}{L\,\omega + \frac{l}{x}}.$$

Soll daher der Draht auf irgend einen bestimmten Grad des Erglühens gebracht werden, so mufs, wenn X den Glühungscoefficienten des Drahtes bezeichnet, $\frac{I}{X}$ einen gewissen diesem Glühungsgrade entsprechenden Werth annehmen, der durch G bezeichnet werden mag. Man erhält also zur Bestimmung dieses Glühungsgrades

$$G = \frac{A}{\left(L\,\omega + \frac{l}{x}\right)X},$$

wo die Werthe von x, l, ω so zu nehmen sind, wie sie dem auf den bestimmten Glühungsgrad erhobenen Drahte entsprechen, indem in dem Glühungszustande diese Werthe selbst bedeutend anders ausfallen, als in einer niedrigern Temperatur.

Sehr gut stimmen mit dieser Formel die Versuche, namentlich die von Children überein, wo Drähte von einem und demselben Metalle, aber von verschiedener Dicke, das einemal neben einander, das anderemal hinter einander in einer Länge den elektr. Strom von einer Stelle zur andern leiteten. Im erstern Falle erglühte der *dickere* Draht, im zweiten der *dünnere*. In beiden *hinter einander* in einer Länge befindlichen Drähten war die Gröfse des elektr. Stromes dieselbe, die Intensität des Stromes und also die Glühkraft mufste im dünnern Drahte gröfser seyn, und zwar in dem Verhältnisse, in welchem sein Querschnitt kleiner war, als der des dickern. Im letztern Falle ist die Intensität des Stromes in beiden Drähten dieselbe, insofern die wegen der durch den dickern Draht im Verhältnisse seines gröfsern Querschnitts durchgehenden gröfsern Menge gröfsere Intensität mit dem gröfsern Querschnitte im gleichen Verhältnisse wieder geringer ist, woraus eine Gleichheit der Intensität für beide Drähte folgt; da

Digitized by Google

aber der dünnere Draht durch die umgebende Luft verhä nifsmäfsig mehr Wärme verliert, so mufste die Glühkraft dickern Drahte gröfser seyn.

Sind Drähte von gleicher Länge und Dicke, aber v verschiedenen Metallen, in die Kette neben einander eing führt, so mufs in ihnen die Glühkraft dieselbe seyn, aber n unter der Voraussetzung, dafs die Gröfsen x und X in jed Metalle einander proportional sind. Ist diese Proportionali wirklich vorhanden, wie wahrscheinlich ist, so müfsten alle fallsige Unterschiede in ihrem Erglühen lediglich aus dem U terschiede ihres Leitungsvermögens für die Wärme zu erkl ren seyn, was also ein gutes Mittel an die Hand gäbe, d Hypothese jener Proportionalität zu prüfen.

Durch weitere Ausführung seiner Formel entwickelt On die Glühungswirkung verschiedener Volta'scher Apparate a Drähte von demselben Metalle und demselben Querschnitt wiefern nämlich dadurch verschiedene Längen glühend g macht werden, und findet folgende Gesetze.

1) Bei Volta'schen Säulen, die aus ganz gleichen El menten nur in verschiedener Anzahl gebaut sind, steht d Länge des Drahtes, welche sie zu einem und demselben Gra de des Glühens bringen, zu der Anzahl der Elemente in e nem constanten Verhältnisse.

2) Bei sonst ganz gleichen Volta'schen Apparaten verha ten sich, wenn nur die Flächen, in welchen die Metallplatte mit der Flüssigkeit in Berührung kommen, von einander ab weichen, die Unterschiede der Drahtlängen $l' - l$, $l'' - l$, $l''' - l$ zu einander, wie die Werthe

$$1 - \frac{f}{f'},\ 1 - \frac{f}{f''},\ 1 - \frac{f}{f'''} \ldots,$$

wo den Werthen f, f', f'', f''' .... die Drathlängen l, l', l'', l''' ... zugehören. Dieses giebt folgenden einfachen Ausdruck:

Die Unterschiede der Drahtlängen, welche durch ver schiedene Volta'sche Apparate, die in nichts als der Flächen gröfse ihrer Metallplatten sich von einander unterscheiden bis zu einem und demselben Grade des Erglühens gebracht werden, verhalten sich zu einander, wie die Unterschiede um welche die Einheit das Verhältnifs übersteigt, welches aus den Flächengröfsen der zu den entsprechenden Apparaten ge hörigen Metallplatten gebildet wird.

Verhalten sich z. B. die Flächengröfsen wie 1, 2, 4, 8 u. s. w., dann werden die Unterschiede

$$1 - \frac{f}{f'},\ 1 - \frac{f}{f''},\ 1 - \frac{f}{f'''} \ldots$$

der Reihe nach $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{7}{8}$. Man hat demnach in diesem Falle $f - l : f' - l : f''' - l \ldots = \frac{1}{2} : \frac{3}{4} : \frac{7}{8} \ldots$ oder auch $f - l : f' - f' : f''' - f'' \ldots = \frac{1}{2} : \frac{1}{4} : \frac{1}{8} \ldots\ldots$ d. h. die Unterschiede der Drahtlängen, welche durch Volta'sche Apparate von der angezeigten Art auf einerlei Grad des Glühens gebracht werden können, werden von einem Apparate zum andern stets um die Hälfte kleiner. Es werden demnach der Glühkraft eines Volta'schen Apparats in Beziehung auf Länge des Drahtes durch Vergröfserung seiner Flächen bald feste Grenzen gesetzt werden. Eine Bestätigung dieser Gesetze durch genaue und oft genug abgeänderte Versuche fehlt indefs noch.

BB. Chemische Wirkungen der Volta'schen Apparate.

Unter dem Artikel *Galvanismus* sind die chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes galvanischer Ketten nach ihren allgemeinsten Gesetzen und einige derselben bereits ausführlich abgehandelt worden. Doch haben wir einige der interessantesten gerade diesem Artikel vorbehalten müssen, da sie vorzüglich durch Hülfe derjenigen Volta'schen Apparate dargestellt worden sind, auf welche wir an jenem Orte noch nicht Rücksicht genommen haben.

Mit Ausnahme des *Titanoxyds*, *Ceriumoxyds*, *Tantaloxyds*, der *Yttererde*, der *Kieselerde* und *Thonerde* giebt es keinen auch sonst auf chemische Weise zerlegbaren und sich also als zusammengesetzt beweisenden Körper, den es nicht gelungen wäre, durch Hülfe Volta'scher Apparate zu zersetzen und seine Bestandtheile wenigstens vorübergehend isolirt darzustellen. Eben durch die Zerlegung derjenigen Körper, welche man zwar einer strengen Analogie zufolge mit höchster Wahrscheinlichkeit als zusammengesetzt betrachten konnte, die aber früher allen chemischen Zerlegungsversuchen widerstanden hatten, nämlich der Alkalien und alkalischen Erden, erhielt der Volta'sche Apparat gleichsam eine neue Verherrlichung. Diese grofse Entdeckung verdanken wir Sir Humphry

Digitized by Google

Davy, der die Reduction der Alkalien zu Metallen zuerst Jahre 1807 zu Stande gebracht. Zur richtigen Beurtheil dieses Erfolgs müssen wir einige allgemeine Bemerkungen ü die Wirkungsart des elektr. Stromes in den chemischen Z setzungen und über den Einfluſs der besondern Beschaff heit des zu zersetzenden Körpers auf diesen Strom vora schicken.

Jede Zersetzung durch den elektr. Strom erfolgt zunächst s in zwei in einem elektrischen Gegensatze gegen einander s hende Bestandtheile und erreicht ihre Grenze nur, wenn Grundstoffe, welche in dem gröſsten Gegensatze stehn und den einfachsten Zusammensetzungen, den binären, vereinigt v ren, von einander getrennt und nach den entsprechen Polen der Säule gebracht worden sind. Daſs die Zersetzu wirklich zu Stande komme, hängt davon ab, daſs der elekt sche Strom eine hinlängliche Stärke habe, um die Verwan schaft, welche die beiden zu trennenden Bestandtheile zusa menhält, zu überwinden. Ist der elektr. Strom an und sich nicht stark genug, so kann doch die Zersetzung bewi werden, wenn eine im gleichen Sinne wirkende Verwan schaft mithilft, in welchem Falle wenigstens einer der B standtheile eine neue Verbindung eingeht. Das Quantum Zersetzung hängt gleichfalls von der Stärke des elektr. Str mes ab. Unter dieser Stärke ist zunächst die Intensität, welcher der elektr. Strom durch den zu zersetzenden Körp hindurchgeht, zu verstehen, und *jedem Grade von Verwan schaft, womit zwei Bestandtheile zusammenhalten, muſs ei bestimmte Intensität des elektr. Stromes* entsprechen, um Zersetzung zu bewirken. Diese Intensität kann nach Besch fenheit des zu zersetzenden Körpers bald durch Verminderu des Leitungswiderstandes, bald aber auch nur durch Verme rung der Zahl der Elemente erreicht werden und hängt ledi lich von dem besondern Leitungsvermögen des zu zersetze den Körpers ab. Dieses Leitungsvermögen ist in den ve schiednen Flüssigkeiten höchst verschieden, da z. B., das Le tungsvermögen des reinen destillirten Wassers als Einheit zu Grunde gelegt, dasselbe schon 30mal übertreffen wird, we auch nur $\frac{1}{600}$ Salmiak in dem Wasser aufgelöst wird [1]. We

1 Vergl. Pfaff in Schweigger's Jahrb. LV. 218. und Fechner

man Flüssigkeiten zur Schliefsung der Kette anwendet, welche ein sehr geringes Leitungsvermögen haben, so wird man durch Vergröfserung der Platten sehr wenig ausrichten können. Wenn nämlich in der oben erklärten Gleichung $K = \frac{A}{L}$ an die Stelle von L seine Werthe a und b gesetzt werden, wo a den Leitungswiderstand in der Säule, b den Leitungswiderstand der zu zersetzenden Flüssigkeit darstellt, so sieht man leicht ein, dafs, wenn a auch noch so sehr verkleinert und selbst auf 0 herabgebracht wird, sey es durch Vergröfserung der Platten, oder durch Anwendung einer besser leitenden Flüssigkeit, dieses doch keinen merklichen Einflufs auf die Vergröfserung des Quotienten $\frac{A}{a + b}$, d. h. auf die Verstärkung des elektr. Stromes haben wird, sobald a ein verschwindendes Verhältnifs gegen b hat. Hier wird man also blofs durch Vergröfserung des Werthes von A, d. h. durch Anwendung einer Säule von vielen Plattenpaaren auch von kleiner Oberfläche, allein etwas ausrichten und eine Zersezzung bewerkstelligen können, die bei einer geringen Anzahl von Platten auch durch jede Vergröfserung ihrer Oberfläche nicht erreicht werden kann. Ganz anders aber wird sich die Sache verhalten, wenn der Werth von a gegen b nicht verschwindend ist, ihre Werthe einander gleich sind oder gar der Werth von a den von b übertrifft, was in vielen Fällen statt finden kann, wo die zu zersetzende Flüssigkeit ein grofses Leitungsvermögen hat. Hier wird man allerdings den Strom auffallend verstärken können, wenn man in dem galvanischen Apparate eine Flüssigkeit von besserem Leitungsvermögen anwendet oder die Oberfläche der Metallplatten vergröfsert. Hieraus ergeben sich folgende allgemeine Gesetze:

a) Bei sehr geringem Leitungsvermögen des zu zersetzenden Körpers, der den Kreis der Volta'schen Säule schliefst, wird man nur durch Säulen von vielen Elementen etwas ausrichten, und es ist eine um so gröfsere Zahl derselben nöthig, je gröfser die Verwandtschaft ist, mit wel-

---

der Uebers. von Biot's Lehrbuch der Experimentalphysik. III. Band. S. 557.

Digitized by Google

cher die Bestandtheile des zu zersetzenden Körpers zusa menhängen.

b) Bei sehr geringem Leitungsvermögen des den Kreis sch fsenden zu zersetzenden Körpers wird man durch bl Verminderung des Leitungswiderstandes in der Säule gleichbleibendem Werthe von A nichts ausrichten.

c) Dagegen wird man bei höherem Leitungsvermögen des Kreis schliefsenden zu zersetzenden Körpers auch du Säulen von wenigen Elementen etwas auszurichten ver gen, wenn man den Leitungswiderstand in denselben du Vergröfserung der erregenden Oberfläche oder durch A wendung einer besser leitenden Flüssigkeit sehr merkl vermindert.

d) Auch wird man in allen denjenigen Fällen, wo der L tungswiderstand von b viel geringer ist, als der von durch Erhöhung dieses Leitungswiderstandes in b, ind man den Durchschnitt desselben verkleinert, *durch Er hung der Intensität des elektr. Stromes* verhältnifsmäl mehr für die Zersetzung gewinnen, als man durch Verg fserung des Leitungswiderstandes verliert.

Eine Menge besonderer Erscheinungen finden dadurch il Deutung und verlieren ihre scheinbare Räthselhaftigkeit. Dal gehören namentlich einige Erfahrungen von Gay Lussac u Thénard[1], die als Resultat ihrer Beobachtungen anführ dafs, wenn es darauf ankommt, Elemente zu trennen, die bl einer beträchtlichen Kraft weichen, man Säulen von viel Lagen anwenden müsse, und die ferner beobachteten, dafs einer mit reinem Wasser gefüllten Entbindungsröhre selbst aufserordentlich starker Zellenapparat von 600 Plattenpaar keine merkliche Gasentwickelung bewirkte, indem das rei Wasser für die immer verhältnifsmäfsig schwache Spannu dieses mächtigen Apparats doch als eine Art von Isolator wirk Die *Alkalien* erfordern eben, weil sie, um reducirt zu we den, nicht in Auflösung, sondern nur in einem schwach b feuchteten Zustande angewandt werden können, in welch sie nur sehr unvollkommene Leiter sind, sehr mächtige A parate von einer gröfsern Anzahl von Plattenpaaren, wo

1. S. Berthollet's Bericht in Schweigger's Journ. I. 409. u. Anm. d. H.

Digitized by Google

die von so vielen Physikern angestellten Versuche vollkommen mit einander übereinstimmen. H. Davy[1] leitete erst durch das Kali, während es durch die mit Sauerstoffgas angeblasene Weingeistlampe vermittelst des Löthrohrs in einem Platinlöffelchen in heftiger Rothglühhitze und im Zustande vollkommener Flüssigkeit erhalten wurde, den elektrischen Strom eines stark geladenen Zellenapparats von 100 Plattenpaaren, jedes 6″ Seite haltend, deren positiven Pol er mit dem Platinlöffelchen, den negativen durch einen Platindraht mit dem Kali in Verbindung gebracht hatte. Unter diesen Umständen war das Kali in hohem Grade leitend, und so lange die Verbindung dauerte, sah er an dem negativen Drahte ein sehr lebhaftes Licht und im Berührungspuncte eine *Flammensäule*, welche von einem sich hier bildenden verbrennlichen Körper herzurühren schien. Bei der umgekehrten Vertheilung der Polardrähte sah man zwar am positiven Pole ein lebhaftes und bleibendes Licht, aber nichts, was einem Verbrennen geglichen hätte, dagegen sah man durch das Kali Gasblasen aufsteigen, die sich in der Atmosphäre eins nach dem andern entzündeten. Davy machte den Schluſs, daſs, da das Kali vollkommen trocken war (doch fehlte chemisch gebundenes Wasser nicht), der am negativen Pole auftretende verbrennliche Körper durch eine Reduction des Kali selbst hervorgebracht seyn müsse, und so ging er, um diesen Körper zu erhalten, zu den eigentlich entscheidenden Versuchen über, indem er nur schwach befeuchtetes Kali anwandte und einen noch viel energischern Apparat, nämlich den obigen Zellenapparat in Vereinigung mit 150 vierzölligen Plattenpaaren gebrauchte. Erman und Simon[2], die ersten deutschen Physiker, welche Davy's Versuche wiederholten, bewirkten die Reduction mit einer Säule von 60 Plattenpaaren Zink und Kupfer von einem Durchmesser von 8″, deren Pappscheiben mit Salmiakauflösung getränkt waren, dagegen gelang Erman mit einer Säule von einigen hundert Plattenpaaren von blank gescheuertem Zink und Silber, deren Durchmesser kaum einen Zoll betrug, die Reduction nicht[3]

1 G. XXXI. 117.
2 G. XXVIII. 121.
3 Ebendas. 129.

Digitized by Google

Die Wiener Physiker Jacquin, Schreibers, Tihawsky u Bremser[1] brachten die Reduction durch eine Säule von 1 Plattenpaaren Zink und Kupfer, welche zusammen 54 Quadrat und 23 Quadratzoll hielten, zu Stande. Doch erhielt Jacq schon durch eine Säule von 300 Plattenpaaren von 3″ Dur messer die Reduction des Kali's und Natrons. Berzelius lang dieselbe dagegen nicht mit einer Säule von 26 Platt paaren mit einer Oberfläche von 100 Quadratzollen jedes P tenpaares[2].

Auch Ritter[3] bestätigte durch seine Versuche den schiedenen Vorzug der Apparate von vielen Abwechselun mit verhältnifsmäfsig kleiner Oberfläche vor denen mit w gen Abwechselungen und grofser Oberfläche. Er wandte Säulen von $1\frac{3}{4}$ Quadratzoll Oberfläche an und fand eine che von 300 Abwechselungen wirksamer, als einen Schüs apparat von 36 — 40 Quadratzollen und 50 Abwechselun mit 30fach verdünnter Schwefelsäure in Thätigkeit ges Gay Lussac und Thénard wollen die Reduction der A lien schon durch eine Säule von 80 Plattenpaaren, die eine Oberfläche von 6 Quadratzollen hatten, zu Stande bracht haben. Mit seinem oben beschriebenen Trogappa von 20 Riesenplattenpaaren vermochte Children die Alka nicht zu reduciren, während er den vollkommensten Erfolg einem kleinplattigen Trogapparate von 200 Abwechselu von nur 2 Quadratzoll Oberfläche jeder Platte und bei An lung der kleinen Tröge von Pfeifenthon mit verdünnter Sch felsäure und Salpetersäure hatte.

Wendet man eine hinlänglich starke Säule an, so man noch Folgendes zu beachten. Man legt ein dünnes S von schwach befeuchtetem Aetzkali auf eine Silber- oder tinscheibe, die mit dem positiven Pole des Volta'schen A rates verbunden ist, und berührt die Oberfläche des Alkalis dem Silber- oder Platindrahte des negativen Poles. Das kali schmelzt bald am Berührungspuncte, in kurzem ersc nen um den Draht herum kleine metallisch glänzende Kü

---

1 G. XXVIII. 133.

2 G. XXXVI. 247.

3 Denkschriften der Kön. Acad. der Wissenschaften zu Mün für das Jahr 1808. S. 207.

Digitized by Google

chen, die nach und nach an Gröfse wachsen, bis sich endlich eine Rinde von Alkali auf ihrer Oberfläche zu bilden anfängt. In diesem Augenblicke mufs man sie mit einer Messerspitze wegnehmen und sogleich unter gereinigtes Steinöl werfen. Zuweilen, wenn keine Kügelchen erscheinen, findet man sie doch, wenn die Schliefsung einige Zeit hindurch gedauert hat, an der untern Fläche des aufgehobenen Alkali's angelegt. Ist die Wirkung des Volta'schen Apparats stark, so entzünden sich zuweilen die Kügelchen und detoniren sogar im Augenblicke der Entstehung. Um die oxydirende Einwirkung der Luft während der Reduction zu verhüten, hat man vorgeschlagen, dieselbe sogleich unter Steinöl vorzunehmen. Das schwach befeuchtete Kali wird zu diesem Zwecke zwischen zwei Platinplatten in ein schickliches Gefäfs gelegt, das man sogleich, nachdem es in die Kette gebracht ist, mit Steinöl füllt.

Ein viel schwächerer elektrischer Strom reicht schon zur Reduction hin, wenn man die Verwandtschaft des Quecksilbers, das sich mit dem Kalium oder Natrium zum Amalgam verbindet, zu Hülfe nimmt. Ritter fand[1], dafs breite Säulen von wenigen Plattenpaaren zur Erzeugung dieses Amalgams günstiger sind, als vielplattige schmale Säulen, und fand selbst eine kleinplattige Säule von 400 Plattenpaaren nicht so wirksam, als 40 Abwechselungen seines Schüsselapparats. Der Grund davon liegt darin, dafs hier durch die Berührung des Kalis mit dem Quecksilber eine viel gröfsere leitende Oberfläche dem Strome dargeboten ist, auch nicht nothwendig festes, nur wenig befeuchtetes Kali angewandt werden mufs, sondern auch eine concentrirte Lauge, die ein vortrefflicher Leiter der Elektricität ist, das Amalgam liefert. Ja im letztern Falle ist nach Herschel's[2] und meinen Versuchen[3] selbst eine Säule von 10 Plattenpaaren von nur einem halben Zoll Durchmesser hinreichend, um die Reduction des Kali's und Natrons zu bewirken. Man kann den Versuch wieder so anstellen, dafs man in ein Stück befeuchteten Kalis eine Höhlung macht, die möglichst tief und mit Quecksilber angefüllt ist, das Stück auf eine Platinplatte legt und

[1] A. a. O.
[2] Schweigger's Journ. XLIV. 196 fg.
[3] Ebendas. XLVIII. 200. 240.

den positiven Pol des Volta'schen Apparats mit der Pla den negativen Pol durch einen Platindraht mit dem Queck ber in Berührung setzt, wo bei hinlänglicher Wirksamkeit Säule so viel Kalium abgeschieden wird, dafs das Amalg fest wird, oder man kann auch nach Berzelius Angabe[1] Quecksilber, das sich in einer Porzellanschale befindet, einer sehr concentrirten Lauge von kaustischem Kali über fsen, worin sich noch einige Stücke ungelösten Kali's be den. In das Quecksilber bringt man dann von dem negati Pole aus einen Eisen- oder Platindraht und ebenso von dem sitiven Pole aus einen Platindraht in die Kalilauge. Das Queck ber wird allmälig schwerflüssig und man entdeckt kleine bildende Metallkrystalle, wie es scheint von kubischer Ges welche eine feste chemische Verbindung von Kalium Quecksilber sind. Ritter[2] fand das mit Kalium gesätt Quecksilber, besonders wenn er es aus dem Kreise her nahm, in deutlichen Würfeln krystallisirend, die er von e halben Linie und auch noch gröfser sah. Die Menge des liums, die selbst in der festen Verbindung mit dem Que silber zusammengetreten ist, beträgt nicht mehr als 2 Proc Das gebildete Amalgam, um es aufzubewahren, mufs man ter Steinöl bringen, oder, wie Davy gethan hat, das Que silber mit dem Alkali sogleich unter Steinöl galvanisiren, sonst das Kalium sich bald wieder oxydiren würde. Zur D stellung dieses Amalgams ist es eben nicht erforderlich, A kali zu nehmen, sondern selbst aus Salzen mit Kaligrundl dem kohlensauren, essigsauren, schwefelsauren Kali und Chlorkalium läfst sich dasselbe auf die angezeigte Weise stellen.

Ebenso wie Kali verhält sich das Natron und wird seinen Salzen, namentlich dem schwefelsauren Natron und Chlornatrium, durch Hülfe des Quecksilbers leicht reducirt

Das Lithium wurde durch Davy aus dem Lithonhyd dargestellt und verhält sich in seinen Eigenschaften sehr ä lich dem Natrium[3].

Den Baryt, Strontian und Kalk unterwarf Davy[4]

1 Lehrbuch der Chemie. Neueste Auflage. 7. Heft. S. 283.
2 A. a. O. S. 201.
3 Berzelius Lehrbuch 7. Heft. S. 822.
4 G. XXXII. 369.

schwach befeuchteten Zustande unter Steinöl mittelst Eisendrähten der Einwirkung desselben mächtigen Apparats, durch den er das Kali reducirt hatte. Es entwickelte sich dabei viel wasserstoffliches Gas. Die Erden nahmen an der Stelle, wo sie mit dem negativen Pole in Berührung standen, eine dunklere Farbe an und zeigten einige metallisch glänzende Puncte, die an der Luft allmälig weifs wurden; als Davy sie mit der Loupe betrachtete, sah er, dafs sich ein grünlicher Staub von ihnen trennte, während kleine Gasbläschen sich entwickelten. Davy hielt sie für Legirung dieses Metalls mit Eisen.

Gay Lussac und Thénard[1] sahen bei Anwendung ihres mächtigen Trogapparats über die Oberfläche des geschmolzenen Baryts Funken gegen den negativen Draht hinspringen und mit einem sehr scharfen und sehr gefährlich athembaren Rauche verschwinden. Der Strontian und Kalk gaben ihnen nur zweifelhafte Zeichen von Zersetzung.

Viel leichter gelingt die Reduction dieser alkalischen Erden durch Hülfe des Quecksilbers, mit welchem ihre metallischen Radicale sich zu Amalgamen verbinden. Gay Lussac und Thenard erhielten vermittelst einer Säule von 100 Plattenpaaren von 3" Seite das Baryumamalgam sehr leicht. Man legt das Barythydrat, das mit Wasser zu einem dünnen Brei angerührt worden ist, auf das Quecksilber. In diese Masse führt man einen Platindraht vom positiven Pole ein und verbindet das Quecksilber durch einen Eisen- oder Platindraht mit dem negativen Pole. Aus dem Amalgame kann man dann durch Destillation des Quecksilbers aus einer vorher mit Wasserstoffgas gefüllten Retorte das Baryum erhalten. Herschel[2] erhielt aus einer Auflösung von salzsaurem Baryt, womit eine kleine Quecksilberkugel übergossen wurde, in gröfster Schnelligkeit mit einer Säule von 8 Paaren des Baryumamalgam. Die kleine Quecksilberkugel, mit dem negativen Polardrahte verbunden, bildete schöne baumartige Formen und verdickte sich zu einem festen, ganz krystallinischen Amalgam.

Man erhält nach Davy's Versuchen die Amalgame von Baryum, Strontium und Calcium gleichfalls, wenn man durch Mengungen aus 2 Theilen der befeuchteten Hydrate dieser

---

1 Schweigger's Journ. II. 420.

2 Schweigger's Journ. XLIV. 201.

alkalischen Erden und einem Theile rothen Quecksilberox den elektrischen Strom hindurchgehn läfst. Als Davy[1] d Mengungen mit einem ganz neuen Zellenapparate von Doppelplatten von 6″ Seite galvanisirte, entstand jedesmal solche Hitze beim Schliefsen, dafs das Quecksilber und reducirte Metall verbrannten. Vermehrte er die Oberfläche Leiter, so war die entzündende Kraft geringer und das Am gam fuhr dennoch beständig fort sich zu bilden, doch erl er es nur in dünnen Häutchen, nie in Kügelchen. Mit Talkerde gelang der Versuch nur unvollkommen, als er befeuchtete schwefelsaure Talkerde anwendete, bekam er Amalgam schnell. Am leichtesten erhielt Davy die Amal me, als er befeuchtete Gemenge von Baryt, Strontian, K Magnesia mit ¼ Quecksilberoxyd auf ein Platinblech brac in ihre Oberfläche eine Vertiefung machte, die grofs ge war, einen Quecksilbertropfen von 50 bis 60 Gran aufzun men, das Ganze mit ein wenig Steinöl übergofs und d durch schickliche Leiter so in den Kreis seines Trogappa von 500 Plattenpaaren brachte, dafs das Platinblech posi das Quecksilber negativ elektrisirt wurde.

Das Ammoniak bietet im Kreise der Volta'schen Si merkwürdige Erscheinungen dar, die hier noch kurz erwä zu werden verdienen. Setzt man flüssiges Ammoniak Wirkung des elektr. Stromes aus, so wird dieses in seine heren Bestandtheile zersetzt, am positiven Pole erscheint Sti gas, am negativen Pole Wasserstoffgas. Bei einem gewis Grade der Concentration der Flüssigkeit erscheint am pos ven Pole neben dem Stickgas auch Sauerstoffgas. Ganz genthümliche Erscheinungen finden aber statt, wenn man A moniakflüssigkeit oder auch eine Auflösung eines Ammoni salzes, namentlich des Salmiaks, in Berührung mit Queck ber, dem elektr. Strome einer Volta'schen Säule unterwirft, dem man den negativen Eisen- oder Platindraht in das Que silber, den positiven Platindraht in die Flüssigkeit eintau Es bildet sich hierbei ein ganz eigenthümliches Amalgam, sogenannte Ammonium-Amalgam. Seebeck scheint der e gewesen zu seyn, der die Bildung dieses Amalgams beoba tete, die erste genauere Untersuchung wurde aber von Bi

1 G. XXXII. 374.

zelius und Pontin, und, wie es scheint, ohne von Serbeck's Beobachtungen etwas zu wissen, vorgenommen[1], demnächst von H. Davy[2] und den französischen Chemikern Gay Lussac und Thénard[3] zum Gegenstande einer sorgfältigen Untersuchung gemacht. Um diesen merkwürdigen Körper zu erhalten, legt man nach Berzelius Angabe[4] auf den Boden einer gläsernen Schale ein wenig Quecksilber und führt den negativen Draht von Eisen oder Platin in dasselbe, gießt darauf eine concentrirte Ammoniakflüssigkeit und taucht in dieselbe den positiven Polardraht so ein, daſs er nur eine Linie vom Quecksilber absteht. Im ersten Augenblicke giebt bloſs der positive Drath Gas, aber bald fangen auch Gasblasen vom Quecksilber aus an sich zu entwickeln, dieses schwillt auf, wird allmälig dick wie Butter, erhält eine silberweiſse Farbe und wird zu einem 5- bis 6mal gröſsern Volumen ausgedehnt. Dieses dann nicht mehr flüssige Amalgam verwandelt sich beim Herausnehmen aus dem Kreise unter Entwickelung von Wasserstoffgas sehr bald in Ammoniak und Quecksilber, welches letztere sein ursprüngliches Volumen wieder annimmt. In gröſserer Menge und in starrer Gestalt läſst sich, wie Davy zuerst angegeben, dieses Amalgam so darstellen, daſs man in ein Stück Salmiak eine runde Vertiefung schneidet, diese mit Wasser befeuchtet, eine Kugel Quecksilber hineinbringt und diese vermittelst eines Platindrahtes mit dem negativen Pole der elektr. Säule in Verbindung setzt, während man vom positiven Pole einen Platindraht in den feuchten Salmiak hineinführt und diesen dem Quecksilber so nahe wie möglich bringt. Das Quecksilber schwillt dann auſserordentlich an und wird endlich starr. Am schönsten erhält man dieses Amalgam, wenn man in jene im Salmiak gemachte Grube statt Quecksilbers einen Tropfen Kalium-Amalgam bringt und fast ebenso, wie angegeben worden ist, verfährt. Das Ammonium-Amalgam wächst dann bald hoch über die Grube hinaus und bildet selbst eine Art von Verästelung, gleich einem kleinen Bleibaume. Ueber

---

1 Recherches physico-chemiques par Gay Lussac et Thénard. p. 82.

2 G. XXXIII. 241.

3 A. a. O.

4 Dessen Lehrbuch. 4. Ausg. 1. S. 326.

die Zusammensetzung dieses Ammonium-Amalgams sind Ansichten der Chemiker noch getheilt, mir ist es jedoch wahrscheinlichsten, dafs der für sich noch nicht isolirt dargeste Stoff, den man mit dem Namen Ammonium bezeichnet der eben mit dem Quecksilber jenes Amalgam bildet; aus nem Antheile eines ganz eigenthümlichen Metalls, welches Grundlage des Stickstoffs ausmacht, der selbst sein erstes Oxyd und welchem Berzelius den Namen Nitricum gegeben und aus drei *Antheilen* Wasserstoff besteht, so dafs in d sem Processe der Stickstoff ebenso wie das Kali reducirt w und das Metall desselben mit den drei Antheilen Wasserst welche mit einem Antheile Stickstoff das Ammoniak bild zum *Ammonium* zusammentritt. Das Merkwürdigste hier ist, dafs, ungeachtet das Quecksilber durch seine Verbindu mit diesem noch problematischen Ammonium eine so aufser dentliche Veränderung erleidet, indem es sogar specifisch lei ter als das Wasser wird, das Gewicht des Ammoniums n Davy doch nur $\frac{1}{17000}$ der Verbindung ausmacht.

Die übrigen Zersetzungen betreffend, welche durch Volta'sche Säule bewirkt werden, ist alles Bemerkenswer bereits unter dem Artikel *Galvanismus*, insbesondere in §. 3 §. 88. und §. 89., abgehandelt worden.

CC. Physiologiche Wirkungen.

Wir haben zwar bereits im Artikel *Galvanismus* Räthselhafte, dafs sich bei gleichbleibender Anzahl der Pl tenpaare die Kraft der hydroelektrischen Säule in dem Erg hen der Metalldrähte und in den Verbrennungserscheinung derselben, auch in einigen chemischen Erscheinungen mit Vergröfserung der Oberfläche der Metallplatten so aufserorde lich verstärkt zeigt, während sich diese Verstärkung in d physiologischen Wirkungen, namentlich in den Affection des Gemeingefühls, fast gar nicht kund thut, dafs über ei gewisse an sich geringe Breite der Platten hinausgegangen Erschütterungen eben nicht mehr zunehmen, während die mit der Zunahme der Zahl der Plattenpaare fast ins Unb stimmte wachsen, dafs ferner ein einfaches Plattenpaar v grofser Oberfläche in Rücksicht auf Erglühn von Metalldrä ten sich aufserordentlich wirksam zeigen kann, während d Wirkung auf den menschlichen Körper durch Erschütterung fa

unmerklich ist, durch das so überwiegende Leitungsvermögen der Metalldrähte, die ins Glühen versetzt werden, und mancher salzigen und sauren Flüssigkeiten, verglichen mit dem so geringen Leitungsvermögen des menschlichen Körpers, besonders mit Rücksicht auf die grofse Strecke, die der elektr. Strom in demselben zu durchlaufen hat, aufzuklären gesucht. Die Sache wird aber noch deutlicher durch die Anwendung der unter B entwickelten Grundsätze. In allen den Fällen nämlich, wo es darauf ankommt, den elektrischen Strom auf schlecht leitende Körper einwirken zu lassen, wird man die Zahl der Plattenpaare möglichst zu vervielfachen haben, um durch die Zunahme der Summe der elektromotorischen Kräfte den gröfsern Leitungswiderstand zu compensiren, dagegen seinen Zweck nicht erreichen durch Vergröfserung der Oberfläche der Plattenpaare, da man dadurch nichts anderes bezwekken würde, als den Leitungswiderstand in der Flüssigkeit, welche zum feuchten Leiter dient, zu vermindern oder selbst zum Verschwinden zu bringen, was um so weniger merklichen Vortheil gewähren kann, je mehr dieser Widerstand schon vorher gegen den Widerstand in den übrigen Theilen des Kreises verschwand.

Gesetzt der Widerstand der metallischen Theile, also namentlich des zum Erglühen zu bringenden Metalldrahtes, verhalte sich zum Leitungswiderstande in der Flüssigkeit wie 1:100, so wird, wenn wir die elektromotorische Kraft $= 1$ setzen, die Kraft des elektr. Stromes $= \frac{A}{L}$ proportional seyn der Zahl $\frac{1}{100+1}$, nämlich der elektromotorischen Kraft dividirt durch den Gesammtleitungswiderstand. Verdoppelt man das Leitungsvermögen in der Flüssigkeit, entweder durch Verdoppelung des Querschnittes mittelst Vergröfserung der Oberfläche, oder durch Hinzufügung von Säuren oder Salzen, so wird dadurch der Widerstand von 100 auf 50 reducirt, während der Widerstand des metallischen Theils $= 1$ dasselbe bleibt, mithin ist die Kraft des elektr. Stromes in dieser Beziehung $= \frac{1}{51}$, folglich das Verhältnifs der Kraft des elektrischen Stromes wie $\frac{1}{51}$ zu $\frac{1}{101}$ beinahe doppelt so grofs wie zuvor. Verhält sich aber umgekehrt der Widerstand in der Flüssigkeit zum Widerstande der festen Theile des Volta'schen

Kreises, namentlich des menschlichen Körpers, der bei sei grofsen Ausdehnung einen beträchtlichen Widerstand entg gensetzt, wie 1:100, so würden, wenn man durch Verdo pelung der Oberfläche, wodurch die Flüssigkeit mit den M tallplatten in Berührung steht, oder durch Erhöhung des L tungsvermögens der Flüssigkeit durch einen Zusatz von Sä oder Salz den Leitungswiderstand von 1 auf $\frac{1}{4}$ herabbrin während 100 unverändert bleibt, die Kraft des elektr. Stron doch nur auf $\frac{1}{100,1}$ gebracht, welches sehr wenig gröfser als $\frac{1}{101}$, ja wie grofs man auch die erregende Oberfläche u von wie gutem Leitungsvermögen man auch die Flüssigk nehmen möchte, die Gröfse der möglicher Weise hierdu zu erreichenden Wirkung würde nicht über $\frac{1}{100}$ steigen kö nen, bis dahin nämlich, wo der Leitungswiderstand in Flüssigkeit verschwunden ist. Man sieht aber auch zugle hieraus, dafs unrichtig von einigen Schriftstellern, namentli von Biot[1], den kleinplattigen Säulen sogar eine gröfsere W kung auf den menschlichen Körper zugeschrieben worden als den grofsplattigen Säulen. Stets wird mit Vergröfseru der Oberfläche oder mit Anwendung einer besser leitend Flüssigkeit die Wirkung auf den menschlichen Körper wa sen müssen, aber allerdings in einem um so mehr verschwi denden Verhältnisse, je gröfser vom Anfange an der Leitun widerstand des menschlischen Körpers gegen den übrigen L tungswiderstand war. Aus dem, was über die Intensität elektr. Stromes und die Umstände, von denen die Versch denheit derselben abhängt, vorgetragen worden ist, erkl sich auch sehr befriedigend ein interessantes Phänomen der Reihe der physiologischen und diese Erklärung di zugleich zur Bestätigung unserer Darstellungsweise. Wir h ben oben schon bemerkt, dafs die Erschütterungen, wel der menschliche Körper beim Schliefsen einer Volta'sch Säule erfährt, an Stärke ungemein zunehmen, wenn die na gemachten Hände gute Leiter, wie Zinkplatten, eiserne K geln u. dgl. umschliefsen und mit diesen die Pole berühr Der Grund davon liegt in der mit der bedeutenden Vergröf rung der Berührungsoberfläche des menschlichen Körpers dem metallischen Leiter im Verhältnisse stehenden Vermin

---

1 Vergl. *Galvanismus* Bd. IV. S. 948. §. 99.

rung seines Leitungswiderstandes. Wenn man aber die feuchte Berührungsfläche blofs auf einer Seite vergröfsert, während man sie auf der andern unverändert läfst, so nimmt die Stärke des Schlages blofs auf letzterer Seite zu, vermindert sich dagegen auf derjenigen Seite, auf welcher die Berührungsfläche vergröfsert wird, und wenn man das Verhältnifs recht weit vergröfsert, kann der Schlag auf der einen Seite ganz verschwinden, während er auf der andern Seite ausnehmend gesteigert wird. Vergröfsert man aber auch die Berührungsfläche auf dieser Seite immer mehr, so steigt diesem entsprechend die Stärke des Schlages auf der andern Seite, während sie sich auf dieser mindert. Jedenfalls aber bleibt die Stärke des Schlages auf beiden Seiten gröfser, wenn die Berührungsflächen auf beiden Seiten gröfser, als wenn sie kleiner sind[1].

DD. Nobili's Figuren.

Zu den Versuchen über die chemischen Wirkungen der hydroelektrischen Säule sind seit der Bekanntmachung unsers Artikels über den Galvanismus zwei neue Versuchsreihen hinzugekommen, welche Erscheinungen betreffen, die durch ihre eigenthümliche Form sehr charakteristisch sind und auch dazu geeignet scheinen, über die Bewegung und Form der elektrischen Strömungen selbst noch mehr Aufklärung zu verschaffen. Diese Versuche betreffen 1) gewisse bleibende Figuren, welche man nach ihrem ersten Beobachter Nobili, einen um die Lehre von Galvanismus und Elektromagnetismus hochverdienten italienischen Physiker, die *Nobili'schen Figuren* nennt, und 2) gewisse ganz eigenthümliche Bewegungen in den Flüssigkeiten, welche dem elektrischen Strome unterworfen werden. Nobili theilte die erste Nachricht von seinen Beobachtungen im December 1826 mit [2], worauf noch mehrere andere Mittheilungen desselben folgten[3]. Eine zugleich einfache und be-

---

1 Ritter in G. VII. 478. und in seinen Beiträgen I. 4. S. 276.

2 Ueber eine neue Klasse elektrochemischer Erscheinungen von Leopold Nobili aus der Bibl. univers. Tome XXXIII. Dec. 1826. übers. in Schweigger's Journ. XLIX. 58.

3 Schweigger's Journ. L. 144. LIII. 441. LIV. 40. Vergl. auch Poggendorff Ann. X. 392.

queme Vorrichtung, diese Erscheinungen darzustellen, wo
Nobili einen besondern, aber, wie uns scheint, entbehrlich
Apparat angiebt[1], ist, dafs man zwei starke, aber unten
eine feine Spitze ausgezogene Platindrähte durch Körke, we
che in zwei ungefähr in einem Zoll Abstand von einand
gebohrte Löcher eines Querholzes eingelassen sind, verti
hindurchgehn läfst, so dafs sie sich in den Körken auf- u
abschieben lassen. Unter die Drähte setzt man ein gläsern
oder porzellanenes Gefäfs, in welches man eine wohl poli
Metallplatte legt, die man eine oder zwei Linien hoch m
einer beliebigen Flüssigkeit übergiefst. Die Art, den Versu
anzustellen, ist eine doppelte. Man schiebt nämlich entwed
den einen Draht so weit hinab, dafs er mit der Platte in B
rührung kommt, während die Spitze des andern eine hal
Linie oder noch weniger darüber entfernt bleibt, oder au
man läfst die Spitzen beider Drähte um so viel von der Pla
entfernt und setzt die Drähte jedenfalls mit den Polen ein
Volta'schen Säule in Verbindung.

Hat man die Spitzen beider Drähte in einiger Enfernu
von der Metallplatte gelassen, so wirkt sie als eingebrach
metallische Zwischenplatte mit abgeleiteten Polen, dem po
tiven Drahte gegenüber als negativer, dem negativen Drah
gegenüber als positiver Pol, und es bilden sich beiden Drä
ten gegenüber Figuren, der Beschaffenheit des abgeleitet
Poles gemäfs; ist aber ein Draht mit der Platte in Berührun
so wirkt sie blofs als Verlängerung des Poldrahtes mit einse
tiger ursprünglicher Polarität und es bildet sich dann auf i
blofs eine einzige Figur, der entgegenstehenden Drahtspit
gegenüber und der Polarität der Platte gemäfs. Im letzte
Falle erscheint die Figur deutlicher und entwickelter, im e
stern Falle lassen sich die Versuche dadurch abändern, da
man die Drähte in eine gröfsere Nähe oder gröfsere Entfe
nung von einander bringt, wo im erstern Falle Störungen d
Figuren durch einander eintreten, welche über die Art d
Bewegung der elektrischen Flüssigkeit einigen Aufschlufs
geben versprechen.

Positive Figuren nennen wir diejenigen, welche en
stehn, wenn positive Polarität in der Metallplatte thätig i

---

1 Schweigger's Journ. LIV. 40.

sey es als ursprüngliche oder abgeleitete, in welchen beiden Fällen die positiven Figuren dem negativen Drahte gegenüber stehn, das Entgegengesetzte gilt für die Bezeichnung der *negativen Figuren.* Zur Darstellung der positiven Figuren reicht schon eine Säule von 12 Plattenpaaren von einer Oberfläche von einigen Quadratzollen vollkommen hin, zur Darstellung der negativen Figuren mufs man sich im Allgemeinen einer stärkern Säule bedienen oder man mufs gemischte Auflösungen anwenden. Damit die Versuche recht glänzend ausfallen, müssen die Platten recht schön polirt seyn, die schönsten Figuren erhält man auf Platinplatten, demnächst auf Stahlplatten.

Aus der grofsen Reihe von Versuchen Nobili's, die eine grofse Menge von Flüssigkeiten umfassen, heben wir diejenigen aus, die theils über den Vorgang hierbei am meisten Aufklärung geben, theils durch die Eleganz der Producte ein allgemeines Interesse einflöfsen können. Wenn diese Figuren vollkommen ausgebildet sind, so zeigen sie den allgemeinen Charakter, dafs sie aus mehrern concentrischen Zonen bestehn, die sich auf einen Mittelpunct, welcher der Drahtspitze gegenüber liegt, beziehn, Zonen, die zum Theil mit den schönsten Regenbogenfarben nach einem bestimmten Gesetze prangen und durch einen Absatz der positiven und negativen Stoffe der Auflösung (der Metalle, des Kohlenstoffs, Schwefels, der Alkalien einerseits, andererseits des Sauerstoffs, Iods, der Säuren) in höchst dünnen Schichten gebildet werden.

Essigsaures Blei. Auf positivem Gold und Platin bilden sich binnen wenig Augenblicken verschiedene concentrische, mit Regenbogenfarben schillernde Ringe, von ebenso glänzenden Farben, als die Farbenringe Newton's. Diese schillernden Ringe entwickeln sich einer aus dem andern, indem sie nach Art der Wellen fortschreiten; ihre Lebhaftigkeit und Reinigkeit hängt zum grofsen Theile ab von dem Grade von Politur der Oberfläche, auf welcher sie hervortreten. Auf wenig polirter Oberfläche zeigen sie sich gewöhnlich schwach und verwirrt. Sie widerstehn der Wirkung eines mäfsigen Feuergrades, aber verschwinden gänzlich durch die Wirkung der Salpetersäure. Weniger bestimmt, aber viel mannigfaltiger wird die Erscheinung, wenn man die Anzahl der negativen

Digitized by Google

Polardrahtspitzen vermehrt und diese zu regelmäfsigen Fig
ren, z. B. in Gestalt eines Dreiecks, Vierecks u. s. w., anor
net. So viele Spitzen, so viele Systeme concentrischer, r
Regenbogenfarben schillernder Ringe bilden sich auf der e
gegengesetzten Platte, und diese durchkreuzen und schneid
sich nicht bei ihrer Verbindung, wie Wellen thun würd
sondern, wenn sie mit einander in Berührung gekommen si
vergröfsern sie sich blofs in der Richtung nach aufsen,
dafs sie einen gemeinschaftlichen Umkreis bilden. Auch p
sitives Silber zeigt die nämlichen Regenbogenfarben, wiew
minder deutlich als Gold und Platin. Blei, Zinn, Wismu
und Antimon zeigen nichts Bemerkenswerthes.

Essigsaures Kupfer. Auf positivem Golde, Platin u
Silber zeigte sich beinahe nichts Bemerkenswerthes. Auf n
gativem Silber bildeten sich oft 4 concentrische Ringe, welc
der Luft ausgesetzt folgende Farbenschattirungen annahm
Auf einen dunkelrothen Mittelpunct folgt ein rothgelblich
Ring, dann ein minder dunkler blauer, und endlich eine a
dere Schattirung von Rothgelb, welche einen viel breite
Ring bildet als die ersten. Eine dünne Schicht Salpetersä
macht diesen letztern verschwinden, die drei letztern bleib
zurück mit den gewöhnlichen Farben des Körpers in sein
beiden Zuständen als Oxyd und als Metall. In der Mitte ze
sich das Oxyd, dann folgt das reine Metall umgeben von
nem zweiten Oxydringe.

Essigsaures Kupfer und *Salpeter.* Auf negativem Silb
entsteht ein metallisch glänzendes Centrum, dann eine Reihe co
centrischer Ringe, die in folgender Ordnung auf einander fo
gen. Der Mitte zunächst zwei kleine graue Ringe von nic
sehr intensiver Färbung, dann ein weifser, ein rother, e
graulicher und endlich eine schöne braunrothe Kupferzon
Um diese Zone schliefst sich ein himmelblauer, mit strahle
förmig sich ausbreitenden Linien gleich einem graduirt
Kreise bezeichneter Ring. Diese Strahlen erstrecken sich b
auf den Kupferring. Zuletzt kommt eine zweite ungleich bre
tere, aber eben so glänzende Kupferzone, umgeben von e
nem schönen grauen Ringe, welcher die Figur begränzt. A
Gold und Platin zeigen sich die nämlichen Erscheinunge
Von Einfluss auf das Gelingen dieses Versuchs ist es, dafs d
Metallscheiben nicht zu sehr polirt sind.

Digitized by Google

Brechweinsteinauflösung. Auf positivem Silber fünf von der Mitte ausgehend folgendermafsen gefärbte Ringe: der erste dunkel, der zweite silberweifs, der dritte himmelblau, zum Violetten neigend, der vierte silberweifs, der fünfte violett, aber lichter an seinem äufsern Rande. Auf negativem Silber fünf andere concentrische Ringe, von welchen der erste schwarz, der zweite gelbröthlich, der dritte schwarz, der vierte hellblau, der fünfte schwach dunkel gefärbt ist.

Von den vielen Substanzen aus den organischen Reichen, die Nobili dem Versuche unterwarf, führen wir nur folgende an, die das Bemerkenswertheste lieferten.

Petersiliensaft. Auf positivem Silber ein dunkelfarbiger Punct im Centrum, umgeben von einem weifslichen und grünen Stoffe, dann zwei schöne Regenbogen, von denen der eine stärker gefärbt ist als der andere und die von dem Centralpuncte durch eine Zone geschieden sind, welche von einem so durchsichtigen Flore überzogen ist, dafs sie kaum von reinem Silber sich unterscheidet. Hitze ertheilt dem Regenbogen aufserordentliche Lebhaftigkeit und Glanz.

Mangoldsaft (Beta vulgaris Linn.). 1) Saft von der Rübe. Auf positivem Silber in der Mitte ein rother Punct, umgeben von vier Ringen, deren erster gelb, der zweite blau, der dritte roth und der vierte grün ist; weiter nach aufsen zeigen sich zwei oder drei sehr schöne Regenbogen. 2) Saft der Blätter. Auf positivem Silber dieselben Phänomene, bis auf einige Abweichungen hinsichtlich der mittlern Ringe.

Schweinsgalle. Auf negativem Silber im Centrum ein Stoff, der nach innen zu dunkel, nach aufsen gelb gefärbt ist, dann einige verschiedenartig gefärbte Ringe, welche von einem sehr deutlichen Regenbogen umgrenzt sind, der seinerseits in einer blauen Zone sich auflöst. Zwischen dem Regenbogen und den innern Ringen zeigt sich eine Zone von schöner Rosenfarbe.

Serum von Menschenblut. Auf positivem Platin und Gold keine Erscheinung. Auf positivem Silber gegen das Centrum hin einige aschfarbige Ringe, dann eine sehr hellglänzende Silberzone und eine Reihe sehr lebhafte Regenbogenfarben spielender Kreise, deren letzter sich in eine violette Farbenschattirung verliert. Durch die Wirkung der Hitze erhalten diese Regenbogen eine rothe Färbung. Auf negativem Golde,

Digitized by Google

Platin und Silber setzt sich eine weifse nicht sehr adhaerir de Substanz ab. Auf eine ähnliche Weise wie das Se verhält sich die *Kuhmilch.*

Diese Figuren haben bei allen Flüssigkeiten und auf len Metallen, die man anwenden mag und wo sie überha entstehn, das mit einander gemein, dafs sie concentrisch wechselnd hellere und dunklere, öfters gefärbte Ringe bil und zwar gilt dieses sowohl für die positiven als auch für negativen Figuren. Jedoch überwiegt der positive Pol weitem den negativen in dem Vermögen, in der Form sol Figuren die Substanzen auszuscheiden und auf die Metallp ten abzusetzen, welcher Unterschied schon bei chemisc Praeparaten beträchtlich ist, aber noch ohne Vergleich stä hervortritt, wenn man organische, z. B. thierische Flüssigk ken oder Pflanzensäfte, anwendet, mit welchen man sogar am positiven Pole ins Auge fallende Phänomene erhält.

Man kann jedoch die Wirkung des negativen Pols th durch Verstärkung des elektrischen Stromes, theils wenn Metallauflösungen anwendet, durch Hinzufügung eines Sa mit alkalischer Basis zu denselben, wie insbesondere des S peters, erhöhn. Am wenigsten geeignet zur Hervorbring dieser Figuren sind die Auflösungen der Alkalien. Als P ten zur Aufnahme derselben scheinen sich nur die negati Metalle vom Messing an zu eignen, auf positiven Metal als Blei, Zinn, Zink, konnte Nobili keine deutlichen Ersch nungen wahrnehmen. Vielleicht liegt dieser Vorzug der gativen Metalle wenigstens in Bezug zu den positiven Fi gen nur darin, dafs sie selbst minder leicht von der Flüss keit angegriffen werden, mithin dem Absatze der Substan eine unverändert bleibende Fläche darbieten.

Im Allgemeinen widerstehn die elektrochemischen Fi ren mehr oder weniger der Einwirkung des Reibens. Du Erhitzung werden ihre Farben auf überraschende Weise lebt. Hat man eine Figur hervorgebracht, welche dem ei Pole entspricht, so kann man sie wieder verschwinden m chen, wenn auch nicht in allen Fällen gänzlich, indem m einen elektr. Strom von entgegengesetzter Richtung dar wirken läfst. Diese Umkehrung giebt zuweilen zur Ents hung neuer Farben Veranlassung, welche den Charakter ursprünglichen Erscheinung verändern.

Eine eigene Reihe von Versuchen hat Nobili über die Formstörung jener elektr. Figuren angestellt, welche beobachtet wird, wenn man auf einer und derselben Metallplatte die beiden Figuren, die positive und negative, neben einander und zwar in einer gewissen Nähe entstehn läfst. In diesem Falle wird keiner von den beiden Polardrähten in unmittelbare Berührung mit der Metallplatte gebracht, sondern sie tauchen neben einander in die zu zersetzende Flüssigkeit in einer Nähe von 1 bis 1,5 Zoll. Nobili bediente sich zu diesen Versuchen vorzüglich einer Mischung von essigsaurem Kupfer und essigsaurem Blei auf Platin. Während jede Figur einzeln dargestellt vollkommen rund ist, so sind dagegen beide unter den obigen Umständen zugleich dargestellt stets mehr oder weniger zusammengedrückt und kleiner als bei der einzelnen Darstellung. Jedenfalls aber bleibt zwischen beiden Figuren ein vollkommen reiner und glänzender Zwischenraum, in welchem die Platte auch nicht von dem geringsten Hauche überzogen erscheint. Zu beiden Seiten dieses Zwischenraums sind die Umrisse der Figuren so scharf abgeschnitten, dafs die dunkle Farbentinte der Platte, welche die Figur am äufsern Rande umgiebt, hier ganz und gar fehlt. Man kann jedoch diese Störung der Form dadurch verhindern, dafs man die Communication der Flüssigkeit von einer Hälfte der Platinplatte zur andern durch eine gläserne Scheidewand hindert, so dafs der Strom blofs durch die Platinplatte von einer Hälfte des Gefäfses zur andern gelangen kann. In diesem Falle erstrecken sich beide Figuren ganz ohne Formstörung bis dicht an die Scheidewand.

Stellt man diesen Versuch mit essigsaurem Blei und essigsaurem Kupfer einzeln genommen an, so erzeugen sich ähnliche Phänomene; in diesem Falle aber übertrifft die eine der beiden Figuren die andere bedeutend an Ausdehnung und an Lebhaftigkeit der Farben. Bei Anwendung von essigsaurem Blei ist die positive Figur sehr grofs und besteht aus schönen farbigen Ringen, die sehr fest auf der Scheibe haften, während die negative Figur nur aus einer ziemlich dünnen Schicht von sehr fest anhängenden Bleitheilchen besteht, die sich mit den Fingern hinwegwischen lassen. Das Gegentheil findet beim essigsauren Kupfer statt, in welchem Falle nämlich die negative Figur die ausgezeichnetste und am feste-

sten haftende ist. Es hängt überhaupt von der Beschaffenhe der Auflösungen ab, welche von beiden Figuren bei dieser A der Anstellung der Versuche die ausgezeichnetste ist, au kann wohl die eine oder andere Figur gar nicht zum Vo schein kommen, aber auch dann erscheint die zum Vorsche kommende Figur ebenso beschränkt, als ob ihr die ande zur Seite stände, welches anzudeuten scheint, dafs eine wir liche, aber nur nicht sichtbare Modification des Metalls neb ihr statt finde. Da zwischen den neben einander gebildet und sich einander in ihrer Ausbildung an der innern eina der zugekehrten Seite beschränkenden und störenden Figur ein vollkommen leerer Zwischenraum ohne Spur von Abs ist, so kann diese Störung nicht dadurch entstehn, dafs ve möge des Zusammentreffens die Schichten, aus denen sie b stehn, sich gegenseitig zusammendrücken. Nobili sucht d her diese Erscheinung auf eine sehr künstliche Weise a dem elektr. Zustande der Metallplatten abzuleiten. Er geht seiner Erklärung von der Erscheinung aus, dafs, wenn zw schen den beiden Drähten eine dünne Glasplatte eingeschob wird, welche die freie Communication von der einen Hä der Flüssigkeit zur andern aufhebt, die Figuren sich vollko men entwickeln und, statt durch einen beträchtlichen Zw schenraum getrennt zu seyn, sich bis dicht an die Scheid wand erstrecken. Er wirft die Frage auf, ob hierbei ni eine Art von Refraction des elektr. Fluidums nach Art Lichts, wenn es aus einem Medium in das andere überge statt finde, sofern auch hier das elektr. Fluidum aus der Fl sigkeit in die Metallplatte überzugehn gezwungen ist. Jedo fehlen uns noch zu viele Data, um einer solchen Annah einigen Werth beilegen zu können. Uns scheint die Erkl rung des ganzen Phänomens sehr nahe zu liegen. Wenn kei freie Communication zwischen der Flüssigkeit auf der inne Seite in dem Falle, wenn die gläserne Scheidewand eing schoben ist, statt findet, so können die negativen und po tiven Grundstoffe, die, jene vom negativen, diese vom po tiven Drahte, nach allen Seiten zurückgetrieben werden, na der innern Seite zu sich nicht begegnen und wieder mit ei ander verbinden, und legen sich also auf allen Seiten gleic förmig, jene auf der dem negativen Polardrahte zugekehrt positiven, diese auf der dem positiven Polardrahte zugekehrt

Digitized by Google

negativen Hälfte der Metallplatte an. Wird dagegen die Scheidewand entfernt, so begegnen sich die einander zunächst liegenden positiven und negativen Substanzen, vereinigen sich wieder mit einander und entgehn der Absetzung auf der Platte auf dieser innern Seite, und nur die an dieser Seite dem Mittelpuncte näher gelegenen Theile tragen zur Bildung der Figuren bei, die also auf der innern Seite beschränkt, verengert erscheinen und einen vollkommen leeren Zwischenraum zwischen sich lassen müssen, während die Theilchen, die auf der äufsern Seite zurückgetrieben werden, sich frei bewegen und so weit anlegen können, als der elektrische Kegel seine Wirkung überhaupt ausbreiten kann, weshalb die Figuren hier erweitert und regelmäfsig abgerundet erscheinen müssen.

EE. Elektrochemische Bewegungen.

Eine höchst interessante Classe von Erscheinungen, von welchen unter dem Artikel *Galvanismus* noch nicht die Rede gewesen ist und welche von dem Strome der Volta'schen Säule abhängen, verdient hier noch eine nähere Betrachtung, nämlich gewisse sehr gesetzmäfsige Strömungen und Bewegungen in Flüssigkeiten, die unter ganz bestimmten Bedingungen eintreten.

Der Professor Gerboin zu Strafsburg[1] hat die ersten Spuren der hierher gehörigen Erscheinungen beschrieben. Es waren wirbelförmige Bewegungen leichter Körperchen, die sich im Wasser über Quecksilber befanden, welches letztere sich in einer doppelt gebogenen zweischenkligen Röhre befand und das Mittelglied zwischen zwei Golddrähten, die die Pole einer kräftigen Volta'schen Säule in das Wasser leiteten, bildete. Im Augenblicke der Schliefsung des Kreises erzeugte sich dann an dem Ende des Quecksilbers, welches dem negativen Golddrahte gegenüber stand und folglich seinerseits selbst als positiver Pol auftrat, augenblicklich eine Oxydschicht und es fand daselbst keine Bewegung statt, dagegen erfolgte in dem andern Schenkel über der Fläche des Quecksilbers, welche dem positiven Drahte gegenüber stand und nun selbst als negativer Pol auftrat, jene wirbelförmige Bewegung im Wasser, die sich an den leichten Körperchen in demselben

1 G. XI. 340.

kund that. Gerboin hatte aber hierbei das wichtigste Phänome von welchem jene Bewegung abhing, nämlich das Aufsteig des Quecksilbers, übersehn. Der schwedische General Hellwig hatte Erman in Berlin eine hierher gehörige merkwi dige Bewegung eines Quecksilbertropfens unter dem Einflu der Volta'schen Strömung gezeigt, die damals ganz räthselh schien[1]. Später (1809) eröffnete Erman auf seinem eigen Wege dieses neue Gebiet von Erscheinungen, nämlich v ganz eigenthümlichen Bewegungen sowohl des Quecksilbers auch anderer Flüssigkeiten unter dem Einflusse der Volta'sch Elektricität, und knüpfte daran jene ihm ganz entfallene M theilung Hellwig's als ein untergeordnetes Phänomen[2]. So g bührt eigentlich dem Berliner Physiker diese Entdeckung, d er in einem sehr interessanten Aufsatze ausführlich erörter Sechzehn Jahre später fafste Herschel in England diese En deckung von neuem auf und machte auf mehrere dabei übe sehene Umstände aufmerksam[3]. Pfaff erweiterte die Ve suche noch mehr und stellte ein neues Erklärungsprinc für dieselben auf[4]. Schweigger zog sie mit dem ihm eige thümlichen Scharfsinne in das Gebiet der elektromagnetisch Erscheinungen[5]. Endlich wendete auch Nobili bei Gelege heit seiner elektrischen Figuren auf diesen Gegenstand sei Aufmerksamkeit und fügte einige neue Thatsachen hinzu[6].

In der Beschreibung der Erscheinungen werden wir vo züglich unsere eigenen Versuche zum Grunde legen. a) M übergiefst recht reines Quecksilber in einem passenden G fäfse (einem Uhrglase, einer Porzellanschale) mit einer saure alkalischen oder salzigen Flüssigkeit und bringt darauf d Polardrähte einer Volta'schen Säule (nach Schweigger am b sten einer grofsplattigen) auf eine der folgenden Arten dam in Beziehung. Man taucht entweder die beiden Drähte, wo bei immer Platindrähte gemeint sind, wenn nicht das Gege theil bemerkt ist, in die Flüssigkeit, ohne dafs sie mit de Quecksilber selbst in Berührung kommen, oder man setzt d

---

1 G. XXXII. 289.
2 Ebendas. 261.
3 Schweigger's Journ. XLIV. 191. XLVIII. 46.
4 Ebend. XLVIII. 190.
5 Ebend. 324.
6 Ebend. XLIV. 41.

Digitized by Google

Quecksilber mit dem einen Drahte in unmittelbare Verbindung, den nur durch die Flüssigkeit bis in dasselbe hineinreichen läfst, während der andere blofs in die Flüssigkeit taucht. Im ersten Falle treten in der Quecksilbermasse selbst zwei abgekehrte Pole ganz so, wie in der Metallplatte, auf welcher Ritter seine Figuren darstellt, auf; im zweiten Falle ist das Quecksilber selbst nur als Verlängerung des Pols des Drahtes, mit welchem es in Verbindung steht, zu betrachten. Der dritte Hauptfall, wo beide Drähte in das Quecksilber eintauchen und in diesem der Kreis unmittelbar geschlossen wird, bietet keine besondern hierher gehörigen Erscheinungen dar. Die mechanischen Vorrichtungen, um diese Versuche mit aller Sorgfalt anzustellen, bieten sich jedem mit dergleichen Untersuchungen einigermafsen vertrauten Physiker von selbst dar. Schweigger hat einen ganz bequemen Apparat dazu angegeben[1]. Es kommt wesentlich hierbei darauf an, dafs man mit aller Behutsamkeit den einen oder den andern Draht oder beide Drähte dem Quecksilber nähern, in leise Berührung damit bringen, wieder zurückziehn, auch in beliebiger Richtung gegen dasselbe bewegen könne.

Wir wollen als ersten Hauptfall denjenigen betrachten, der durch die Zeichnung einigermafsen anschaulich gemacht ist, wo der äufsere punctirte Kreis den Rand des Gefäfses (Uhrglases), bis an welchen die salzige Flüssigkeit nahe hinreicht, der innere Kreis den Umrifs der Quecksilbermasse, die ellipsenartigen Linien darauf die Störung in der über dem Quecksilber befindlichen Flüssigkeit, und + und — die Polardrähte der Säule, wovon der negative in das Quecksilber selbst, der positive diametral gegenüber in die Flüssigkeit eintauchen, dargestellt. Ist dann, wie in dem hier betrachteten Falle, die Flüssigkeit eine Auflösung von reinem Kali oder kohlensaurem Kali, so tritt in dem Augenblicke, wo der Kreis auf die angegebene Weise geschlossen wird, eine *auffallende Abplattung*, eine Ausdehnung des Quecksilbers ein, dessen Durchmesser bei starken Säulen (z. B. von 100 Plattenpaaren von 3 bis 4 Quadratzoll Oberfläche) sich fast um $\frac{1}{4}$ vergröfsert und dessen Höhe in demselben Verhältnisse abnimmt, und mit dieser Abplattung, wobei das Quecksilber seinen Glanz unverändert be-

Fig. 17.

1 Dess. Journ. XLVIII. 339.

hält, der, wenn er etwas getrübt war, vielmehr nun wiede hergestellt wird, tritt zugleich ein lebhafter Strom in der Flüs sigkeit von dem positiven nach dem negativen oder dem i das Quecksilber eingesenkten Drahte ein, den wir in unsere Abhandlung nach Herschel's Vorgange durch den Name des *positiven* Stromes bezeichneten (was aber Schweigge vielmehr eine Drehung der *negativ elektrisirten* Flüssigkei nennt), ein Strom, der in *gerader* Richtung über das Queck silber weggeht, auf beiden Seiten in einer gekrümmten Rich tung der Krümmung des Uhrglases gemäfs zurückkehrt un in gewisser Hinsicht einen doppelten Strom darstellt. Die Ab plattung des Quecksilbers ist in einzelnen Fällen besonder bei stärkeren Säulen mit einer Art von Wälzung der Queck silberkugel verbunden, wobei der Rand des Quecksilbers gleich sam undulirt und sich faltet. Wird der negative Draht wie der aus dem Quecksilber herausgezogen, aber in der Laug gelassen, so dauert dieser Strom noch fort, nimmt sogar a Schnelligkeit zu und wird nun besonders durch die Gasbla sen, die sich am negativen Drahte reichlich entbunden hatte und nun in den Strom hineingezogen werden, auffallende Doch hört dieser Strom nach einiger Zeit gänzlich auf, *wobe sich in dem Augenblicke des Aufhörens das Quecksilber et was zusammenzieht.* Zieht man die Drähte aus der Laug heraus und schliefst von neuem den Kreis in derselben, s stellt sich der Strom nicht wieder ein, sondern alles verhäl sich so, wie nachher für diese Art der Schliefsung angegebe werden wird.

Je länger der negative Draht mit dem Quecksilber in Ver bindung geblieben ist, um so länger dauert auch der positiv Strom nach aufgehobener Verbindung des negativen Drahte mit dem Quecksilber fort, bei fortdauernder Schliefsung de Kreises in der Lauge, und um so schneller ist der Strom Dieser Erfolg beweist deutlich, dafs durch die Berührung de Quecksilbers mit dem negativen Drahte dasselbe eine Modifi cation angenommen hat, die zur Unterhaltung jener Bewegun eine Zeit lang fähig macht. Herschel hat nachgewiesen, daf diese Veränderung auf einer Legirung mit Kalium beruht, wel ches durch den Einflufs des Stromes reducirt sich mit den Quecksilber am negativen Pole verbunden hat. Ein entschei dender Beweis dafür liegt darin, dafs, wenn zu einer bekannte

Menge reinen Quecksilbers gleich Anfangs etwas Amalgama eines Alkalimetalls zugesetzt wurde, sich ein starker positiver Strom in dem Augenblicke erzeugte, wo der Kreis in der Lage geschlossen wurde, obgleich keiner der Drähte das Quecksilber berührte. Dieses Alkalimetall mufs sich jedoch, wenn das Quecksilber aufser Berührung mit dem negativen Drahte kommt, wieder zu Alkali oxydiren, und in dem Mafse, als dieses geschieht, hört die Strömung auf. Hat man daher die Drähte aus der Lauge herausgenommen und schliefst mit denselben wieder den Kreis nur in dieser, so wird nur ein positiver Strom mitwirken, wenn dieses früher geschehn ist, als das Quecksilber durch Oxydation des Kaliums zu seiner ursprünglichen Reinheit zurückgekehrt ist. So sehr werden die Erfolge durch die vorangegangenen Versuche modificirt, und nimmt man darauf nicht gehörige Rücksicht, so trifft man da nur Anomalieen, wo doch ein strenges Gesetz herrscht. Haschke hat auch Versuche über eine ähnliche Wirkung anderer Legirungen, die durch die vorhergegangene Berührung des Quecksilbers mit dem negativen Drahte unter entsprechenden Flüssigkeiten gebildet werden, angestellt und gefunden, dafs die mit dem Quecksilber in Verbindung tretenden Metalle jene Erscheinung um so auffallender darboten, je elektropositiver sie selbst sind. Ein Milliontheilchen der ganzen Masse des Quecksilbers im Kalium ertheilte ihm schon diese Eigenschaft. Bei $\frac{1}{160000}$ Natrium bemerkte man noch eine deutliche Ausströmung vom positiven Pole; Ammonium ertheilte aber diese Eigenschaft nicht, dagegen Baryum, dessen Legirung mit dem Quecksilber schon dadurch bewirkt wurde, wenn man nur eine Säule von 8 Paaren und salzsauren Baryt anwendete, ebenso Strontium und Magnium [1]. Aendert man die Lage des positiven Drahtes gegen den negativen in den vorigen Versuchen ab, so ändert sich damit zugleich die Gestalt und Richtung des Stromes. Wird nämlich der positive Draht, der in den vorigen Versuchen dem negativen diametral gegenüber stand, allmälig um das Quecksilber herumgeführt, so folgt der Strom stets der Linie, die man vom positiven nach dem negativen Drahte ziehn kann, und bald verwandelt sich der Strom nur in einen einfachen Strudel, in-

1 Schweigger's Journ. LIV. 41.

Digitized by Google

dem er in einer kleinern Curve nicht durch die Mitte des Quecksilbers sich hinzieht und nur auf der einen Seite des Uhrglases von dem negativen zu dem positiven Drahte zurückfliefst u. s. w.

Wird, während der negative Draht mit dem Quecksilber in Berührung bleibt, auch der positive Draht in dasselbe eingesenkt, so zieht sich in demselben Augenblicke die Quecksilberkugel zusammen und nimmt die Krümmung an, die sie auch sonst in der Flüssigkeit haben würde, und es ist dann überhaupt alles zur relativen Ruhe gekommen.

Wird der bisher beschriebene Fundamentalversuch auf die entgegengesetzte Weise angestellt, und zwar so, dafs der negative Draht in die Lauge eintaucht, der positive dagegen mit dem Quecksilber in Berührung kommt, so findet in dem Augenblicke der Berührung eine deutliche Zusammenziehung des Quecksilbers statt; das Quecksilber nimmt eine gröfsere Convexität an, aber fast ebenso schnell überzieht sich dasselbe mit einer Oxydhaut; sein Glanz verliert sich, es wird zähe, steif, so dafs man es hin und her ziehn und ihm jede Gestalt geben kann; dabei breitet es sich allmälig in einen gröfsern Raum aus und seine im ersten Augenblicke, aber nur vorübergehend, convexer gewordene Oberfläche wird stufenweise flacher. Das Phänomen der Oxydation modificirt sich nach der Stärke des elektr. Stromes. Bei Anwendung einer Säule von 24 Plattenpaaren von 2″ Durchmesser spielt die Oxydschicht mit den schönsten Regenbogenfarben, besonders mit einer tombackbraunen und blauen Farbe, das Quecksilber oxydirt sich nur auf den ersten Grad, aber schon bei Anwendung einer Säule von 50 Plattenpaaren ist die Schicht gelb, es bildet sich sogleich Oxyd, noch auffallender geschieht dieses durch eine Säule von 120 Plattenpaaren, besonders an der Stelle, die dem negativen Drahte gerade gegenübersteht, und die Erstarrung und das Zähewerden des Quecksilbers ist dann gleichsam der Effect eines Augenblickes. Während der Berührung des Quecksilbers mit dem positiven Drahte ist unsern Beobachtungen zufolge keine Spur von Strömung zu bemerken Nach Herschel[1] soll sie jedoch unter der Oxydkruste stat finden und ebenso sichtbar werden, als die vorhin beschrie-

1 Schweigger's Journ. XLIV. 191.

Digitized by Google

bene positive Strömung, wenn man die Bildung dieser Oxydschicht durch Hinzufügung einiger Tropfen schwacher Salpetersäure hindert. Man begreift indefs nicht, wie die Hinzufügung einiger Tropfen Salpetersäure zu einer alkalischen Lauge eine solche Wirkung haben kann, wenigstens wollte es uns nicht gelingen, auch scheint Herschel hierbei Strömungen des Quecksilbers im Auge gehabt zu haben, von denen bis jetzt überall noch nicht die Rede gewesen ist. Sie sollen in diesem Falle vom negativen Pole ausgehn.

Wird der positive Draht wieder aufser Berührung mit dem Quecksilber gebracht, der Kreis bleibt aber in der Lauge geschlossen, so beharrt das Quecksilber in jener zähen, starren Beschaffenheit und Ausbreitung, mit seiner Oxydschicht bedeckt, und aufser der Gasentbindung ist nichts zu bemerken. So wie aber der negative Draht mit dem Quecksilber in Berührung gebracht wird, zieht sich das Quecksilber mehr oder weniger schnell wieder zusammen, in dem Verhältnisse, in welchem die Oxydhaut verschwindet, erhält wieder seinen alten Glanz und runde Form, und in demselben Augenblicke, wo die letzte Spur von Oxyd verschwunden ist, tritt dann wieder, wie im Nu, die Ausbreitung und Abplattung, die vom negativen Drahte abhängt, ein und der lebhafte positive Strom beginnt, welcher den letzten Rest des schwarzen oder gelben Oxyds, das sich bisweilen noch vorfindet, mit Schnelligkeit über das Quecksilber treibt und mit sich fortreifst.

Eine ähnliche Wirkung, als durch Berührung mit dem negativen Drahte, kann man auch dadurch hervorbringen, dafs man das Quecksilber, das sich zuvor am positiven Pole mit Oxyd bedeckt hatte, nach Oeffnung des Kreises mit einem reinen, nicht elektrisirten Drahte berührt, der in der galvanischen Spannungsreihe dem positiven Pole näher steht, als das Quecksilber, und zwar um so auffallender, je elektropositiver das Metall ist (doch soll Zinndraht wirksamer als Zink seyn). Man sieht dann das Oxyd schnell am Berührungspuncte verschwinden, als wenn es verschluckt würde, und das umliegende Quecksilber sich von allen Seiten nach dessen Stelle stürzen, während auf der Oberfläche sich ein Strom nach dem Drahte hin bildet. Hier wird in Folge einer einfachen Kettenwirkung aus dem positiven Drahte, dem negativen Quecksilber und der Flüssigkeit das Quecksilber ebenso in einen

Digitized by Google

negativen Zustand versetzt, wie mit dem negativen Polardrah und der Erfolg ist daher auch derselbe.

b) Wird gleich anfangs ohne vorhergegangene Berühru des Quecksilbers mit einem Polardrahte der Kreis blofs in Lauge geschlossen, so hat man gleichsam in dem Quecksil beide unter a) isolirt betrachtete Fälle vereinigt, indem es s nach dem Gesetze der Zwischenplatten in zwei Zonen th und folglich zugleich als positiv und negativ wirkt. All nach Beschaffenheit der Umstände überwiegt bald mehr positive, bald mehr die negative Zone, so dafs bald mehr Erscheinungen der einen, bald mehr der andern Art der v rigen Schliefsung beobachtet werden, indem die Ströme o Wirbel der einen Zone dann gleichsam die der andern v schlingen. Daher rührt es dann auch, dafs die Angaben Beobachter über die Richtung und selbst über das Vorhande seyn der Strömungen in diesem Falle sehr abweichend v einander sind. Wir konnten in unsern Versuchen keine Sp von Strömung bemerken, nur bot sich uns als ganz consta tes Phänomen eine Anziehung des Quecksilbers durch d positiven Pol, die sich als eine ruckweise Bewegung seit ganzen Masse zeigte, dar. Dieses Ausbleiben der Strömung in unsern Versuchen hing ohne Zweifel von einer nicht g hörigen Wirksamkeit unserer Säulen ab. Schweigger[1], d grofsplattige Säulen von 5″, mitunter von 9″ im Durchmes anwendete, erhielt auch in diesem Falle wirbelförmige Str mungen und, was bemerkenswerth ist, auch in einer L sung von kohlensaurem Kali nach dem Typus derjenigen der Schwefelsäure, wie auch Erman früher sie schon erhalt hatte.

Nobili[2] will bei dieser Art der Schliefsung, wenn d Platindrähte vertical über eine Schicht reinen Quecksilbers v 2 bis 3″ im Durchmesser in die einige Linien über demselb stehende Flüssigkeit so eingetaucht werden, dafs ihre Spitz nun durch einen sehr kleinen Zwischenraum von der Quec silberfläche getrennt sind, folgende Erscheinungen, und zw bei Anwendung des Glaubersalzes, beobachtet haben. In de Fig. 18. Augenblicke, dafs man die Drähte mit der Säule von mitte

1 A. a. O. S. 329.

2 Schweigger's Journ. LIV. 58.

Digitized by Goo

mäfsiger Stärke in Verbindung setzt, wird man sogleich im Umkreise der den Polspitzen gegenüberliegenden Puncte der Quecksilberfläche (sie mögen respective n und p heifsen, je nachdem sie dem negativen oder positiven Drahte gegenüber stehn) zwei Systeme von Strömen sich bilden sehn. Betrachtet man das Quecksilber unter einem schiefen Winkel, so wird man auf seiner Oberfläche Grenzen wahrnehmen, welche den äufsern Umrissen der gewöhnlichen elektrochemischen Figuren entsprechen, die entstehn würden, wenn man dem Quecksilber eine feste Metallplatte substituirte. Diese Grenzen bestehn aus ovalen Linien oder Streifen n′, n″, n‴ und p′, p″, p‴, innerhalb welcher das Quecksilber ein wenig niedriger steht, als aufserhalb. Diese Streifen sind deutlicher an den innern einander zugekehrten Seiten p′, p″ und n′, n″, als an den äufsern von einander abgewandten p‴ und n‴. In der Mitte oo nimmt man auf dem Quecksilber eine oder zwei Linien wahr, wo seine Oberfläche bewegt erscheint, wie durch das Zusammentreffen zweier entgegengesetzter Ströme. Selten sind die von dem Mittelpuncte p und n ausstrahlenden Ströme von gleicher Kraft; im Allgemeinen sind die vom Puncte p ausgehenden die wirksamsten, oder, wenn sie das nicht gleich zu Anfange des Versuchs sind, so werden sie es doch bald. Fast jederzeit bildet sich in p etwas Oxyd, welches durch den Strom nach aufsen fortgerissen wird, nach dem Umkreise p′, p″, p‴, wo es sich mehr oder minder anhäuft. Das Oxyd, welches über p′ p″ hinausgetrieben wird, breitet sich mehr oder weniger rasch nach der Gegend des negativen Poles hin aus, wo dasselbe absorbirt und reducirt wird, sobald die Ströme dieses Theils bis zu dem Grade an Kraft abnehmen, dafs sie der Ausbreitung kein Hindernifs mehr entgegenstellen. Die Masse der Flüssigkeit theilt sich nicht selten in zwei ungleiche Hälften, so dafs die eben durch m bezeichnete Linie in die m m übergeht. Das Verhalten ist aus der Zeichnung leicht zu erkennen. Fig. 19.

Wie in einer Kalilösung zeigen sich diese Erscheinungen auch auf gleiche Weise in Baryt, Strontian und Kalkwasser und in den Auflösungen der Salze mit solcher alkalischer Grundlage, doch in schwächerem Grade. Am schwächsten erscheinen sie im Wasser, doch gleichfalls nach demselben Typus.

c) Auf eine ganz entgegengesetzte Art verhalten sich die

Digitized by Google

Erscheinungen unter denselben Umständen, wenn das Qu
silber mit einer sauren Flüssigkeit bedeckt ist, und zwar z
sich dieser Gegensatz am deutlichsten bei Anwendung der c
centrirten Schwefelsäure. Auch hier wollen wir die versc
denen Hauptfälle unterscheiden.

α) Wird der Kreis blofs in der Säure geschlossen,
findet eine sehr merkliche Anziehung des Quecksilbers d
den negativen Pol statt, die in einer gleichsam zuckenden
wegung desselben besteht und bei starken Säulen mit e
Abplattung und zugleich sichtbaren Verlängerung und V
schmälerung verbunden ist, die sich am stärksten zeigt, w
die Drähte in diametraler Richtung des Quecksilbers einar
gegenüber und zugleich dem Quecksilber so nahe als mög
stehn. Zugleich beginnt ein sehr lebhafter, negativer Str
Fig. 20. wie ihn die Zeichnung darstellt, nämlich von dem negati
nach dem positiven Drahte hin in zwei ganz ähnlichen S
deln oder Ellipsen, als oben unter a) beschrieben wur
nur bei gleicher Stärke der Säule mit einer viel gröfs
Schnelligkeit und in einer gröfsern Ausdehnung. Der St
wird lebhafter, wenn die Masse des Quecksilbers zwisc
beiden Polen vermehrt wird. Dieser Strom dauert fort o
Verminderung in seiner Richtung und Stärke, so lange
Säule in Wirksamkeit ist, und hört nur auf mit ihrer
schöpfung. Das Quecksilber wird hierbei in seinem Ans
nicht merklich getrübt. Auch sehr schwache elektrische St
me können durch die Strömungen in der Schwefelsäure sic
bar gemacht werden.

β) Im Augenblicke der Berührung des Quecksilbers
dem negativen Drahte tritt statt der Abplattung, wie die
der Fall in der alkalischen Lauge ist, eine auffallende Zusa
menziehung des Quecksilbers ein, bei starken Säulen nim
die Höhe des Quecksilbers wohl um $\frac{1}{4}$ der unsprünglichen
der Strom hört augenblicklich auf und das Quecksilber
deckt sich auf seiner ganzen Oberfläche mit Luftblasen. Diese
Veränderung des Quecksilbers tritt auch ein, wenn der negat
Draht vorher mit dem Quecksilber in Berührung gebracht
mit dem positiven Drahte der Kreis in der Säure geschlossen wi
nur dafs es in diesem Falle gar nicht zur Strömung kommt

γ) Wird dagegen der positive Polardraht mit dem Que
silber in Berührung gebracht, so tritt sogleich auffallende

Digitized by Google

plattung und Ausbreitung des Quecksilbers ein, doch ohne dafs es sich mit einer eigentlichen Oxydschicht bedeckt; zugleich verwandelt sich jener lebhafte, aus zwei elliptischen Strudeln bestehende Strom (c α) in einen eine gerade Richtung nehmenden von etwa vierfach geringerer Geschwindigkeit.

d) Wird, während der negative Draht mit dem Quecksilber in Berührung bleibt (β), auch der positive Draht mit demselben in Berührung gebracht, so hört die vorhergegangene Zusammenziehung des Quecksilbers auf. Dieses breitet sich zu derjenigen Krümmung aus, die ihm ursprünglich zukommt, und die Gasblasen, womit das Quecksilber bedeckt war, weichen von derjenigen Stelle, wo der positive Draht das Quecksilber berührt, plötzlich über die Oberfläche zurück, so dafs diese wieder rein und glänzend erscheint, doch tritt keine weitere Strömung ein. Die Abplattung nimmt zu über den ursprünglichen Durchmesser, wenn nunmehr der negative Draht herausgezogen wird, die noch vorhandenen Gasblasen kehren wieder nach der Eintauchungsstelle des positiven Drahtes zurück und der vorhin beschriebene Strom beginnt.

Nach Herschel sollen ähnliche negative Ströme, wie in der Schwefelsäure, bei der Schliefsung des Kreises in der Flüssigkeit und den Auflösungen derjenigen Salze, deren Basis elektronegativ ist, also namentlich in den Auflösungen der Salze, deren Basis thonartig ist, und der gewöhnlichen Metallsalze noch auffallend genug erfolgen.

d) Wir haben bisher nur von einseitigen Strömen gehandelt, nach Herschel und Schweigger sollen aber auch gleichzeitig entgegengesetzte Ströme statt finden können. Bei einer grofsartigen, jedoch nach einigen Tagen nicht mehr mit allzuheftiger chemischer Kraft wirkenden Volta'schen Säule bemerkt Schweigger[1]) gelingt es leicht, wenn ein durch Salpetersäure gereinigtes Quecksilber dünn mit gemeiner Kalauge übergossen wird, die *vierfachen Wirbel* wohl halbe Stunden lang und darüber zu erhalten, welche dem ursprünglichen Typus elektromagnetischer Drehungen gemäfs sind. Auch bei Anwendung schwefelsauren Natrons, sowie des schwefelsauren Kali's sah Schweigger oft auf eine sehr aus-

---

1 Dessen Journ. LIV. 66.

Digitized by Google

gezeichnete Weise diese *vierfachen Wirbel.* Am auffalle
sten boten sie sich in einem Falle in einer Lösung des k
Fig. lensauren Kali's dar. Die Zeichnung stellt das Phäno
21. selbst dar. Die punctirte Linie bezeichnet die Grenze de
ganz dünner Lage aufgegossenen Flüssigkeit, worein die Po
drähte P und Q tauchen, ohne das Quecksilber zu berühren, v
ches bei Eintauchung derselben die Gestalt o m p r q n o anna
Elektrischen Gesetzen gemäfs mufs sich das Quecksilbe
zwei Zonen theilen, von denen die eine m n q r p die posi
ist, welche gewöhnlich die gröfste Ausdehnung hat, währ
o m n die negative Zone darstellt. Von letzterer weicht
Flüssigkeit zurück (wenn man nicht allzuviel aufgegossen h
o m n erscheint als rein glänzende Quecksilberfläche und
Wirbel finden also blofs zur Seite statt in der Richtung,
sie durch die Pfeile angegeben ist, und zwar auf jeder S
in entgegengesetzter Richtung, nämlich links um und re
um. Schweigger weiset bei dieser Gelegenheit zugleich n
dafs die Pfeile, durch welche Nobili die von ihm beob
teten Figuren auf der Oberfläche des Quecksilbers darst
gleichfalls auf solche vierfache Wirbel hindeuten.

e) Wendet man statt des reinen Quecksilbers Legirun
desselben an, so zeigen sich die Erscheinungen im Weser
chen als dieselben, nur sind die Strömungen in dem Verh
nisse, in welchem das Quecksilber dadurch zäher gewor
ist, weniger auffallend. Herschel behauptet, dafs, wenn
das Quecksilber einen Augenblick mit dem Ende eines rei
Zinkdrahtes berührt oder wenn man einen kleinen Ant
festen Zink-Amalgams hinzufügt, so wenig als man mit
ner kleinen Nadelspitze nehmen könne, eine positive S
mung entstehe, wenn auch nur in der alkalischen Lösu
womit das Quecksilber übergossen ist, der Kreis geschlo
werde. Metalle, welche noch elektropositiver als das Z
sind, wie Kalium, Natrium, sollen noch viel stärker in d
selben Art wirken, solche, welche negativer sind, schwäc
in dem Verhältnisse ihrer gröfsern Negativität, so dafs sc
beim Kupfer keine solche Wirkung mehr eintritt. Für
Zink haben wir nichts von der Art beobachten können,
gegen zeigt die Legirung mit Zinn das Ausgezeichnete,
schon 0,0001 durch die augenblickliche Ausbreitung unter
ner Alkalilauge bei der Berührung mit dem positiven Dra

und durch die Bildung einer zähen grauen Haut von einigem Metallglanze angezeigt wird.

Die Gegenwart kräftiger Magnete äufsert nach Herrmann's[1] Versuchen durchaus keinen Einfluſs auf die Hervorbringung, Aufhebung oder Abänderung jener Strömungen. Fernergehn in zwei Zellen, die nur in eine sehr dünne, nichtleitende Scheidewand (ein dünnes Glimmerblättchen) geschieden sind, die Erscheinungen ungestört und so, als ob die Nähe der Strömungen in der andern Zelle gar keinen modificirenden Einfluſs äufserte, vor sich, wenn man in jeder Zelle die Polardrähte einer besondern Zelle gleichzeitig wirken läſst. Besonders verdienen nun noch gewisse auffallende Bewegungen des Quecksilbers in einigen dieser Versuche eine Erwähnung. Hellwig war der erste, der solche Bewegungen des Quecksilbers beobachtete. Ein Quecksilbertropfen von 2—3‴ Durchmesser sey mit einer geringen Menge Wasser bedeckt und umgeben, der negative Polardraht einer Volta'schen Säule sey irgendwo in dieses Wasser getaucht, der positive gleichfalls, aber ganz nahe am Quecksilbertropfen. Dieser Tropfen verändert augenblicklich seine sphärische Gestalt und zieht sich in die Länge gegen den positiven Draht zu, bis er ihn berührt hat. Wenn dieses geschehn ist, springt der verlängert gewesene Theil schnell zurück und die Masse rundet sich wieder ab; darauf dehnt sie sich wieder aus, aber in einer Richtung, die mit der vorigen einen rechten Winkel macht, endlich nimmt sie wieder die Kugelgestalt an, und darauf beginnt die Reihe dieser Veränderungen in derselben Ordnung von neue. Die Schnelligkeit dieser doppelt entgegengesetzten Vibrationen ist so grofs, daſs man sehr viele Mühe hat, sie deutlich wahrzunehmen, das Auge sieht gewissermafsen nur einen flammenden Stern, dessen vier Strahlen die zwei senkrechten Achsen der Ellipsoide sind, in die das sphärische Quecksilber in continuirlicher Abwechselung umgestaltet wird.

Auf eine andere Weise und anders modificirt haben wir diese Bewegungen des Quecksilbers folgendermafsen dargestellt.

Wenn man nämlich in dem oben unter a) beschriebenen Versuche, während der negative Draht das Quecksilber unter

---

[1] *Schweigger's Journ.* XLIV. 186. XLVIII. 248.

Digitized by Google

der Kalilauge berührt, wodurch dasselbe stark abgeplattet wir den positiven Draht, durch welchen der Kreis in der Lau selbst geschlossen war, dem Quecksilber so nahe bringt, d er eben die Oberfläche desselben berührt, so zieht sich d Quecksilber wie durch eine Zuckung schnell zurück und ge sogar in Folge des Beharrungsvermögens noch über die Co vexität hinaus, welche der Berührung an und für sich zukomm Da es hierdurch wieder aufser Berührung mit dem positiven Drah kommt, der negative Draht aber wieder auf Ausbreitung hinwirk so wechselt jene Zusammenziehung sogleich wieder mit einer Au dehnung ab, das Quecksilber kommt von neuem mit dem p sitiven Drahte in Berührung, es tritt abermals Zusammenzi hung ein und man glaubt ein kleines Herz vor sich zu seh dessen Contraction (Systole) regelmäfsig mit seiner Expansi (Diastole) abwechselt. Diese Pulsationen des Quecksilbers fo gen bei Anwendung stärkerer Säulen mit aufserordentlich Raschheit auf einander (wohl 15 und mehr auf die Secund und haben einen sehr grofsen Umfang, am Ende kommt d Quecksilber in die unregelmäfsigsten Bewegungen, hüpft au wärts und seitwärts und sein Umfang nimmt alle möglic Gestalten an. Selbst mit wenigen Plattenpaaren kann m diese Pulsationen hervorbringen, die aber dann langsamer u regelmäfsiger auf einander folgen.

Auch unter den Säuren kann man durch ein entgegeng setztes Verfahren diese Erscheinung hervorbringen. Unter di sen hat bekanntlich der negative Draht Zusammenziehung, d positive Draht Abplattung und Ausbreitung des Quecksilbe zur Folge. Berührt man also das Quecksilber mit dem neg tiven Drahte und nähert mit fester Hand von oben her durch die Säure den positiven Draht dem Quecksilber bis z Berührung, so tritt in demselben Augenblicke Expansion d Quecksilbers ein, dadurch kommt dieses aufser Berührung n dem positiven Drahte, es tritt also eine neue Zusammenzi hung vermöge der Wirkung des negativen Drahtes ein, d mit dem Quecksilber in Berührung geblieben ist. Eben dan erneuert sich aber die Berührung mit dem positiven Drah der eine neue Expansion veranlafst, und so wechselt d Quecksilber abermals zwischen Zusammenziehung und Au dehnung, wie ein schnell pulsirendes Herz.

Gieſst man in eine doppelt gebogene zweischenklige Röh

Digitized by Google

die ungefähr $\frac{1}{4}$ Zoll im Lichten haben kann, Quecksilber, bis es in jedem senkrechten Schenkel eine Höhe von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll erreicht hat, bringt über jede dieser Quecksilbersäulen eine 2 bis 3 Zoll hohe Wassersäule, leitet in diese die Polarenden einer kräftigen Säule und schliefst nun den Kreis, so erregt sich an dem Ende des Quecksilbers, welches dem negativen Drahte gegenüber steht, augenblicklich eine Oxydschicht und es findet in diesem Schenkel keine wahrnehmbare Bewegung statt. Im entgegengesetzten Schenkel verändert sich aber die Convexität seiner Fläche, es steigt gegen die Ränder, während das Wasser in den capillären Raum zwischen die Wände und das Quecksilber eindringt, wieder zurücktritt und so abwechselnd herab- und heraufströmt. Das Einstreuen irgend eines leichten Pulvers in das Wasser macht dieses continuirliche Ebben und Fluthen in lothrechter Richtung noch anschaulicher. Es bildet sich nebenbei dicht an den Wänden der Röhre ein ringförmiger Wirbel, wo die beigemengten fremdartigen Theilchen mit grofser Schnelligkeit durch den Impuls des steigenden und fallenden Wassers bewegt werden. Steht die Röhre vollkommen senkrecht, so halten sich die im Wirbel bewegten Körperchen an den Wänden und bilden eine kreisförmige Zone. Ist die Röhre etwas rückwärts oder seitwärts geneigt, so sammeln sie sich an der entgegengesetzten Seite an und bilden eine Art von Wirbel, der sich mitten im Wasser um seine Achse dreht. Bei jeder Veränderung des Platindrahts verändert sich die Bewegung der kleinen Körper, so wie die Gestalt und Lage des Wirbels, und zwar fliehen gleichsam die kleinen Körperchen von der Spitze des Drahts, der sie, so wie er sich bewegt, vor sich her treibt[1].

Ueber die Ursache dieser interessanten Phänomene sind sehr verschiedene Ansichten aufgestellt worden, und wir gestehen aufrichtig, dafs eine befriedigende Erklärung derselben noch fehlt, auch so lange noch fehlen wird, als das geheimnifsvolle Wesen der Elektricität, die Art seiner Leitung und Bewegung überhaupt noch so wenig aufgeklärt ist.

Erman, der zuerst jene sonderbaren Strömungen in Säuren und alkalischen Laugen beobachtete und sie unter dem

---

1 Gehlens in G. XI. 342.

Gesichtspuncte von galvanischen Figuren auffafste, hat s
auf keine nähere Erklärung derselben eingelassen. Dage
hat er andere, in diesen Versuchen vorkommende Ersch
nungen aus einer durch den elektrischen Strom bewirk
Vermehrung der Adhaesion zwischen dem Quecksilber und
Flüssigkeit, namentlich dem Wasser, zu erklären gesucht.
dafs stimmen die Erscheinungen mit dieser Erklärung ni
überein. Wenn auch Erman auf der einen Seite die Ersch
nung, dafs ein kugelförmiger Wassertropfen, der auf dem Que
silber sich befindet, in welchem der negative Draht eintauc
sich in demselben Augenblicke über die ganze Oberfläche d
selben ausbreitet, wenn durch den positiven Draht der Kr
im Wasser geschlossen wird, als den Ausdruck einer vermel
ten Adhaesion geltend machen kann, so ist doch seine E
duction des gerade entgegengesetzten Verhaltens der Schwef
säure, wenn sie derselben Art des Verfahrens unterwor
wird, welche nämlich zuvor als ein Schleier über das gan
Quecksilber ausgebreitet sich vielmehr im Augenblicke
Schliefsung von allen Seiten nach dem positiven Drahte h
zusammenzieht, sehr gezwungen. Auch hat Erman überha
in seiner Erklärung auf das entgegengesetzte Verhalten der ch
misch entgegengesetzten Flüssigkeiten gar keine Rücksicht g
nommen.

Herschel sieht alle Erscheinungen als abhängig von d
Bewegungen der Theilchen des Quecksilbers an. In Bezi
hung auf die negativen Strömungen soll es der von dem n
gativen Drahte ausgehende elektrische Strom seyn, der
Theilchen des Quecksilbers zurücktreibt, so dafs sie von de
Puncte aus, der dem negativen Drahte am nächsten steht,
seine Oberfläche ausstrahlen. Für die positiven Ströme ab
die in den alkalischen Laugen oder in den Auflösungen v
Salzen, welche eine alkalische Grundlage haben, eintrete
nachdem das Quecksilber zuvor mit dem negativen Drahte b
rührt und dadurch eine Legirung desselben mit dem in h
hem Grade elektropositiven Metalle eingeleitet worden ist, h
er ein anderes Erklärungsprincip zu Hülfe genommen. Es
sehr *wahrscheinlich* möglich, so lautet diese Erklärung[1], da
ein stark elektropositiver Körper, wie Kali-Metall, wo

1 A. a. O. 212.

Digitized by Google

es sich im Quecksilber befindet, seinen natürlichen elektrischen Zustand in der Nähe des positiven Pols erhöht haben könne, eben dadurch zurückgetrieben nun den einzigen Weg habe, welchen ihm der Widerstand des Metalls von der einen Seite und die Cohaesion von der andern Seite erlauben, d. h. längst der Oberfläche, um sich von dem positiven Pole zu entfernen. Das elektropositive Metall kann sogar als ein Träger der positiven Elektricität wirken, welche ihm zu stark anhängt, um durch das Quecksilber geleitet zu werden (das, obgleich ein guter Leiter, weit entfernt ist ein vollkommener zu seyn), und angelangt auf der andern Seite der Kugel kann es dann erst durch den Einfluss des entgegengesetzten Pols seinen erhaltenen elektrischen Zustand verlieren. Herschel fügt jedoch sogleich hinzu, dass diese Erklärung noch viele Schwierigkeiten habe, und ohne Zweifel ist eine der wichtigsten, dass bei der negativen Elektrisirung des Quecksilbers das Kalium sich zunächst an den negativen Draht anlegt und nicht zu begreifen ist, wie in demselben Augenblicke, in welchem der negative Draht herausgezogen wird, das von dem positiven Drahte entfernte Kalium von diesem abgestofsen werden kann. Auch steht dieser Erklärung der Umstand im Wege, dass in der Ammoniakflüssigkeit jene positive Strömung auch eintritt, ohne dass der negative Draht vorher mit dem Quecksilber in Berührung gebracht wurde und ohne dass sich also Ammonium-Amalgama gebildet haben konnte. Was noch die negativen Strömungen in der Säure betrifft, so leitet Herschel dieselben lediglich von den Bewegungen der Quecksilbertheilchen ab, weil nur die unmittelbar auf der Oberfläche des Quecksilbers befindlichen mit erstaunlicher Kraft fortgerissen werden, die darüber befindlichen Schichten aber eher von jenen fortgerissen zu werden, als durch eine unmittelbar auf sie einwirkende Kraft bewegt zu werden scheinen. Auch will Herschel bemerkt haben, dass, wenn man einigen Zwischenraum zwischen den beiden Drähten und dem Rande des Quecksilbers lässt, die Strömung sich beschränke und jene kreisende Bewegung in der Nähe des Quecksilbers entstehe, während die Flüssigkeit, welche die Drähte zunächst umgiebt, fast ganz in Ruhe bleibt. Herschel, der das Unzureichende seiner Erklärung selbst wohl gefühlt hat, schliefst mit folgender sinnreichen Bemerkung. Es biete sich auch eine andere

Ansicht dar, nämlich die auf der Oberfläche der ungleich
tenden Flüssigkeiten stattfindende Wirkung als eine Kraft
genthümlicher Art zu betrachten, abhängig von einem ne
Vermögen des elektrischen Stromes, ähnlich der magnetisc
Kraft und vielleicht daraus hervorgehend.

An diese Ansicht schliefst sich nun am unmittelbars
die von Schweigger[1] aufgestellte an, der die Erscheinung
der That als eine rein elektromagnetische betrachtet und j
Bewegungen der Flüssigkeiten und des Quecksilbers mit
rotirenden Bewegungen der Magnetnadel um einen Lei
durch welchen ein elektrischer Strom sich bewegt, für g
identisch hält. Um einen Begriff von der Reduction die
Bewegungen auf die elektromagnetischen Drehungen zu geb
haben wir nach Schweigger die verschiedenen Stellen
Quecksilberscheibe mit den Buchstaben bezeichnet, welche
entsprechenden Magnetpolen zukommen. Es soll nämlich
der Oberfläche des von der Elektricität in der Richtung
+ E zu — E durchströmten Quecksilbers in N ein Nordp
in S ein Südpol entstehn, dann aber habe die Flüssigk
welche zunächst einen metallischen Leiter umgiebt, nothw
dig die ihm gleichnamige Elektricität. Die unmittelbar ü
dem negativ elektrisirten Quecksilber befindliche Wasserflä
sey also gleichfalls negativelektrisch, demnach müfste das ü
S (dem elektromagnetischen Südpole) befindliche negat
elektrische Wasser sich *rechts um*, das auf N (dem elekt
magnetischen Nordpole) aufliegende positivelektrische Was
links um bewegen, und in der Art zeige sich das Phänon
wirklich, also ganz genau so, wie es sich elektromagnetisc
Gesetzen gemäfs zeigen müsse.

Verfolgt man jedoch diese Erklärung ins Einzelne, so b
ten sich von vielen Seiten Schwierigkeiten dar. Es ist ni
wohl zu begreifen, warum im entgegengesetzten Falle, w
nämlich das Quecksilber positiv elektrisirt wird, sich ke
Spur von Strömung zeigt. Schweigger leitet das Ausblei
der Drehung in diesem Falle davon ab, dafs die Oberflä
des Quecksilbers sich oxydire, also rauh werde, wodurch
sich drehenden Wassertheilchen in ihrer Bewegung gehem
sind. Dieses könnte jedoch höchstens nur von der unterst

---

1 Dessen Journ. XLVIII. 324.

Digitized by Google

in unmittelbarer Berührung mit der Oberfläche des Quecksilbers stehenden Wasserschicht gelten, aber doch keine gänzliche Hemmung in den mehr entfernten Wasserschichten zur Folge haben. Auch dauert ja in der Säure die Bewegung noch fort, wenn gleich der positive Draht mit dem Quecksilber in Berührung gebracht worden ist. In dem Falle, wo in der Säure beide Drähte blofs in die Flüssigkeit tauchen, müfsten nothwendig zwei entgegengesetzte Ströme statt finden, da im Quecksilber beiderlei Pole zugleich auftreten, und doch findet nur ein einseitiger Strom von entgegengesetzter Richtung von derjenigen in der alkalischen Lauge statt, wo das Quecksilber mit einseitiger negativer Polarität auftritt. Auch die gänzliche Abwesenheit der Ströme bei Substituirung einer Platte eines starren Metalls bleibt vollkommen räthselhaft, wenn gleich Schweigger[1] diesem Einwurfe dadurch begegnet, dafs er sagt: Man glätte doch einmal die Oberfläche eines festen Metalls künstlich in dem Grade ab, wie die Oberfläche reinen Quecksilbers von Natur ist, und wenn dieses möglich wäre, wird nicht sogleich durch den chemischen Procefs Rauhigkeit entstehn, indem hier nicht wie bei einem flüssigen Metalle jede Oxydlage sich selbst ablösen kann? Eine solche Oxydschicht kann sich aber doch nicht in dem Falle bilden, wenn unter einer alkalischen Lauge der negative Draht mit der Metallplatte in Berührung gebracht wird. Auch ist der Mangel aller Einwirkung auch der stärksten Magnete auf jene Ströme kaum mit der elektromagnetischen Natur derselben vereinbar. Einen Hauptbeweis für die Richtigkeit seiner Erklärung findet Schweigger noch besonders in jenen *vierfachen Wirbeln*, von denen schon oben die Rede gewesen ist. Wenn der Strom von P nach Q geht, so ist elektromagnetischen Fig. 21.
Gesetzen gemäfs in NN die nordmagnetische, in SS die südmagnetische Hälfte der elektrisirten Quecksilberfläche. Das negativ elektrisirte Wasser (in der kohlensauren Kalilauge) mufs sich an der nordpolarischen und dabei negativelektrischen Quecksilberfläche *links um*, und *rechts um* an der südpolaren Quecksilberseite elektromagnetischen Gesetzen gemäfs bewegen, und die entgegengesetzten Bewegungen müssen auf der positiven Zone des Quecksilbers in der *über* demselben befindlichen, gleichfalls positivelektrischen, Flüssigkeit statt finden.

1 S. 344.

Wir haben alles auf das elektrische Verhalten der Flüs sigkeiten, welches sie in Berührung mit dem Quecksilber, de galvanischen Gesetzen gemäfs, annehmen, zurückzuführen ge sucht und die Bewegungen als selbstständige in den Flüssig keiten selbst angenommen, abhängig von der repulsiven Thä tigkeit der mit ihnen gleichnamig elektrischen Drähte. Die m dem Quecksilber sich negativ verhaltenden Theilchen der Säu müssen vom negativen Pole zurückgestofsen, vom positive Pole angezogen werden, welche Anziehung und Zurücksto fsung von derjenigen, welche sich auf die Elementartheile de Säure und des Wassers bezieht, übrigens wohl zu unterschei den wäre; umgekehrt müssen die mit dem Quecksilber sic elektropositiv verhaltenden Theilchen der alkalischen und sal zigen Laugen von dem positiven Drahte abgestofsen, von der negativen angezogen werden, im erstern Falle mufs also ein positive, im zweiten eine negative Strömung entstehn. Dies Erklärung stand indessen als eine unüberwindliche Schwierig keit die Nothwendigkeit der Mitwirkung des *flüssigen* Queck silbers oder irgend eines andern *flüssigen* Metallgemisch entgegen, denn man begreift nicht, warum bei der Substitu tion einer Gold- oder Platinplatte, mit welchen die Säure und Laugensalze einen gleichen elektrischen Gegensatz w mit dem Quecksilber eingehn, keine Spur von Bewegung ein tritt. Darum möchte ich aber nicht mit Herschel und Nobi die Bewegungen der Flüssigkeiten als blofs secundäre betrachte die mitgetheilt worden sind von den allein ursprünglich in Be wegung gesetzten Theilchen des Quecksilbers, dem jene Flüs sigkeiten blofs passiv folgen, von ihm gleichsam nur fortge rissen werden. Der Hauptbeweis dagegen scheint mir in de Thatsache zu liegen, dafs auch dann die Bewegungen de Flüssigkeiten und zwar in gerader Linie von einem Draht zum andern statt finden, wenn auch gleich die Drähte zu *Seite des Quecksilbers* in die Flüssigkeit eintauchen.

So lange der ganze Vorgang der Art der Leitung un Fortbewegung der Elektricität noch in so tiefes Dunkel ge hüllt ist, wie es in der That der Fall ist, wird auch von ei ner genügenden Theorie der abgehandelten elektrischen Be wegungen nicht die Rede seyn können.

II. Ladungssäule. Ritter'sche Säule. Secundäre Säule.

Unter dem Namen *Ladungssäulen* versteht man solche, welche an und für sich nicht im Stande sind, einen elektrischen Strom hervorzubringen und zu unterhalten, an denen auch nicht im ungeschlossenen Zustande die elektroskopischen Erscheinungen, wie sie jede ächte Volta'sche Säule oder jeden nach den Principien derselben eingerichteten galvanischen Apparat (galvanische Batterie) charakterisiren, wahrnehmbar sind, welche aber in Verbindung mit einer Volta'schen Säule gebracht und dann aus dem Kreise derselben herausgenommen alle Erscheinungen einer Volta'schen Säule darbieten, im ungeschlossenen Zustande nämlich entgegengesetzte elektrische Pole von gleicher Spannung zeigen, im geschlossenen Zustande aber einen elektrischen Strom hervorbringen, der alle Wirkungen des elektrischen Stromes einer gewöhnlichen Volta'schen Säule äufsert, die sich aber dann noch darin von den gewöhnlichen Volta'schen Säulen unterscheiden, dafs ihre Thätigkeit schnell abnimmt und bald gänzlich aufhört. Man hat diesen Säulen den Namen von *Ladungssäulen* gegeben, weil man ihre Wirksamkeit als abhängig von einer Art elektrischer Ladung der metallischen Scheiben, die wesentlich zu ihrer Construction sind, ansah, sie können auch *Ritter'sche* Säulen von ihrem Erfinder J. W. Ritter genannt werden; sofern ihre Wirksamkeit eine abgeleitete ist, werden sie auch *secundäre* Säulen genannt.

Wir haben an verschiedenen Orten unter dem Artikel *Galvanismus* die so merkwürdigen Elementarerscheinungen, welche in der Ladungssäule in einem verstärkten Grade erscheinen, zur Sprache gebracht, namentlich im §. 22. S. 609. §. 62. S. 812. §. 102. S. 972. Doch ist der Gegenstand für die ganze Theorie der Elektricität von so grofser Wichtigkeit, dafs er hier noch eine ausführlichere Erörterung finden mag, besonders in Beziehung auf die Phänomene der Ladungssäule selbst, von welcher in jenem Artikel noch gar nicht die Rede gewesen ist.

A. Das Historische.

Die erste Beobachtung, welche sich auf das Phänomen

der galvanischen Ladung bezieht, verdanken wir dem Franz
sen Gautherot[1]. Er fand nämlich, dafs, wenn zwei Gol
drähte, die, mit den Polen einer schwach wirkenden Batte
in Verbindung stehend, an die Zunge gebracht keinen od
nur einen höchst schwachen Geschmack bewirken, aus ihr
Verbindung mit den Polen entfernt und in ihrer Lage an d
Zunge gelassen, wie sie nun für sich zur Kette geschloss
werden, einen sehr lebhaften Geschmack bewirken, der u
so lebhafter wird, je öfter man diesen Versuch wiederho
Diesen Versuch änderte Gautherot auch so ab, dafs er zw
Platindrähte von einander abgesondert durch einen Kork in ei
Flasche mit Salzwasser gehen liefs, mit den äufsern Ende
mit den Polen einer Batterie in Verbindung brachte. Na
aufgehobener Verbindung mit derselben brachten diese Ende
an die Zunge gehalten, den bekannten galvanischen Geschmac
hervor. Unabhängig von dieser fragmentarischen und vo
Gautherot nicht weiter erklärten Erfahrung eröffnete ab
Ritter auf seinem eignen Wege schon im Jahre 1801 dies
Gebiet neuer Erscheinungen. Da er das allgemeine Gese
ausgemittelt, dafs bei der Oeffnung des galvanischen Kreis
im Augenblicke der Trennung die vorher stattgehabten Em
pfindungen in die entgegengesetzten übergingen, und als
gleichsam eine Umkehrung der Polarität hier statt finde, s
erwartete er etwas Aehnliches bei den mineralogischen Körper
namentlich bei den Metallen, und fand dann wirklich, dafs ei
aus zwei Stücken bestehender Golddraht, der im Kreise de
Volta'schen Batterie als Leiter zwischen zwei Wasserschichte
gedient, aus diesem Kreise herausgenommen und für sich al
lein mit seinen zwei Enden an die Zunge gebracht, währen
die beiden andern Enden selbst mit einander in Verbindun
standen, mit demjenigen Ende, das in dem Kreise negative
Pol gewesen war, nunmehr als positiver Pol wirkte und de
sauren Geschmack hervorbrachte, das andere Ende dagege
vorher positiver Pol, nun als negativer sich thätig zeigte, folg
lich an diesem einen Golddrahte die beiden Pole zugleich tha
tig waren, und zwar in der entgegengesetzten Ordnung vo
derjenigen, welche sie im Kreise der Säule befolgt hatte

---

1 Voigt's Magazin für den neuesten Zustand der Naturkunde. IV
711. 831.

Ebene verhielt sich ein solcher gleichsam polarischer Golddraht gegen das Auge und gegen die Nerven, welche zu den Muskeln gehn. RITTER blieb hierbei nicht stehn, sondern erweiterte diese Versuche zur Erbauung der sogenannten Ladungssäule. Ungeachtet RITTER auf einem Wege, der ihm den Schlüssel zur Erklärung der Erscheinungen der Ladungssäule von selbst in die Hände zu geben schien, zu der neuen Entdeckung gelangt war, so verfolgte er doch in seiner Erklärung einen ganz andern Weg und hinterliefs seinen Nachfolgern eine wichtige Nachlese. Seine Versuche wurden im Jahre 1803 von ihm bekannt gemacht[1], die Existenz dieser Ritter'schen Ladungssäule als einer ganz eigenthümlichen und des Phanomens der Ladung als eines ganz neuen wurde bald in Anspruch genommen und von VOLTA und BRUGNATELLI auf bereits bekannte galvanische Verhältnisse scheinbar zurückgeführt[2]. Damit schien die Sache abgeschlossen und in der That längere Zeit hindurch der Aufmerksamkeit der Physiker gänzlich entrückt, bis der Italiener MARIANINI durch eine grofse Reihe von Versuchen, die er in mehreren Abhandlungen bekannt machte, die richtige Erklärung der Ritter'schen Ladungssäule vorbereitete[3]. Nun nahm auch der Genfer Physiker DE LA RIVE[4] im Jahre 1827 diesen Gegenstand wieder auf und, wie es scheint, ganz unbekannt mit den frühern Ritter'schen Versuchen bezeichnete er jene merkwürdige Eigenschaft der Metalle, unter bestimmten Umständen eine galvanische Ladung anzunehmen, mit dem Namen des *elektrodynamischen Vermögens*. Diese Versuche DE LA RIVE's veranlafsten mich zu einer eigenen Arbeit, welche vorzüglich bestimmt war, DE LA RIVE's Theorie zu prüfen[5]. Endlich schliefsen sich auch die interessanten Versuche WETZLAR's über die Reduction der Metalle auf nassem Wege an diesen Gegenstand an[6].

---

1 Voigt's Magaz. VI. 97. 181.
2 G. XIX. 491. XXI. 133. XXII. 202. 213.
3 Schweigger's Journ. XLIX. 22. 264.
4 Poggendorff's Ann. X. 423.
5 Schweigger's Journ. LIII. 295.
6 Ebendas. XLIX. 450. L. 88.

Digitized by Google

B. Die Thatsachen.

a. Die erste Reihe der hierher gehörigen Thatsachen bezieht sich auf die Veränderung, welche die Metalle in ihrer elektromotorischen Thätigkeit erleiden, wenn sie selbst als Glieder in der einfachen Kette zur Erregung des elektrischen Stromes mitgewirkt haben. Diese Thatsachen sind sehr ausführlich unter dem Artikel *Galvanismus* im §. 22. S. 609 abgehandelt worden. Das allgemeine Resultat der hierher gehörigen Versuche ist dieses, dafs negative Elektromotoren, welche mit positiven zur einfachen Kette geschlossen werden, dadurch die merkwürdige Veränderung erleiden, dafs sie in ihrem elektromotorischen Verhalten dem positiven Ende der galvanischen Spannungsreihe näher rücken und mit ihren ganz homogenen Platten, mit denen sie vor ihrer Anwendung als Kettenglieder nur eine unwirksame zweigliedrige Kette gebildet haben würden, nunmehr eine wirksame Kette bilden, in welcher sie die Rolle des positiven Elektromotors übernehmen. Diese Veränderung ist um so auffallender, je wirksamer die Kette an und für sich war, in welcher Hinsicht besonders Zink als positives Metall gebraucht sich wirksam beweist, jedoch auch andere sich positiv verhaltende Metalle wie Blei, Zinn, Eisen, dieselbe Wirkung, nur in geringerem Grade haben; diese Veränderung kann so weit gehn, dafs sie in ihrem elektromotorischen Verhalten mehrere ihnen zunächst stehende, dem positiven Ende sonst näher stehende Glieder der Spannungsreihe überspringen und mit diesen zur Kette geschlossen vielmehr mit positivem Werthe auftreten, während letztere sich negativ mit ihnen verhalten, wobei vorzüglich der Multiplicator und die vermittelst seiner durch die Art der Ablenkung der Magnetnadel angezeigte Richtung des elektrischen Stromes als Erkenntnifsmittel diente. Dabei ergab sich, dafs die Elektromotoren diese merkwürdige Veränderung ihrer elektromotorischen Thätigkeit, diese Umwandelung ihres negativen Werthes in einen positiven, unter gleichen Umständen in einem um so höhern Grade zeigen, je näher sie selbst dem negativen Ende der Reihe stehn, ungefähr, so weit die Versuche gehn, in folgender Ordnung: Graphit, Platin, Gold, Silber, Kupfer, Messing, Antimon, Eisen, Zinn, Blei. Man kann auch das negative Metall, nachdem es eine Zeit lang mit dem positiven zur Kette geschlossen gewesen, aus der

Flüssigkeit herausziehn und abtrocknen, ohne dafs dadurch jene Veränderung des elektromotorischen Werthes aufgehoben würde. Doch hebt eine längere Berührung mit der Luft diesen neuen Zustand allmälig auf. Eine *entgegengesetzte* Veränderung in der elektromotorischen Thätigkeit des als positives Glied der Kette wirksam gewesenen Metalls, eine Veränderung und Umkehrung seines positiven Werths in einen mehr negativen, findet in viel geringerem Grade statt und ist in mehreren Fällen gar nicht nachzuweisen. So konnte Marianini bei Zink, Quecksilber, Eisen, Blei und Zinn, wenn sie mit negativen Metallen combinirt waren, überall keine Zeichen einer solchen Veränderung wahrnehmen, nur Messing bot ihm Spuren derselben dar. Fechner[1] liefs Zinn Tage lang mit Kupfer zur einfachen Kette in salzsaurem Wasser geschlossen, ohne bei nachheriger Prüfung mit frischem Zinn irgend eine Spur erlangter Negativität zu bemerken, doch glaubt er beim Zink nach längerer Schliefsung eine solche Umkehrung in einen mehr negativen Zustand beobachtet zu haben. Oft sieht man die ganze Oberfläche des positiven Metalls Zink oder Zinn mit Silber oder Kupfer zur Kette geschlossen *geschwärzt*, ohne dafs dadurch eine Aenderung in der elektromotorischen Thätigkeit eingetreten ist, während umgekehrt bei den negativen Metallen eine sehr starke Aenderung der elektromotorischen Thätigkeit von keiner für das Auge sichtlichen Veränderung der Oberfläche begleitet ist, namentlich beim Platin. Doch beobachtet man dieselbe wohl beim Kupfer. Werden dagegen negative Metalle mit noch stärker negativen, in Rücksicht auf welche sie sich also als positive verhalten, zur Kette geschlossen, so bemerkt man allerdings eher eine solche Umkehrung ihrer mehr positiven Natur in die negative, worüber im Artikel *Galvanismus* S. 611. mehrere Versuche von Marianini angeführt worden sind. Hat ein Metall eine gewisse Veränderung seines elektromotorischen Verhaltens aus dem negativen in den mehr positiven erlitten, so kann man diese wieder aufheben und dasselbe in seinen vorigen Zustand zurückführen, wenn man es zum positiven Gliede einer Kette nicht, z. B. wenn man Kupfer, das durch Schliefsung mit Zink relativ mehr positiv geworden ist, mit Graphit oder

1 Biot's Lehrbuch der Experimentalphysik. 1829. Bd. III. S. 271.

Platin zur Kette schliefst. Auch Erhitzen, Eintauchen in k chendes Wasser oder selbst das längere Aussetzen an die Lu stellt den ursprünglichen Zustand der Metalle wieder her, do erhalten sie denselben längere Zeit, wenn sie wohl in Papi eingeschlossen verwahrt werden.

b. Auf eine noch auffallendere Weise wird unter Un ständen, die dieses Phänomen von einer ganz neuen Seite ze gen und mehr auf die Ansicht einer eigentlichen Ladung d Metalle führen, diese Veränderung des elektromotorischen Zu standes hervorgebracht, wenn die Metalle als Leiter des elek trischen Stromes starker galvanischer Batterieen dienen, wom besonders De la Rive's und meine eigenen Versuche sich be schäftigt haben. Man läfst zu diesem Behuf zwei Dräh oder Streifen von demselben Metalle (oder von Kohle, Gra phit, Graubraunsteinerz) als Polarenden der Säule wohl isoli durch einen Korkstöpsel in eine Gasentbindungsröhre gehe so dafs sie bis zu einer hinlänglichen Tiefe von einem halbe oder ganzen Zoll in die Flüssigkeit hineinreichen, und um di Wirkung zu verstärken, bringt man sie einander hinlänglic nahe. Ist der elektrische Strom einer kräftigen Batterie ein Zeit lang durch sie hindurch gegangen und bringt man dann nach aufgehobener Verbindung mit den Polen der Säule, di aufserhalb der Röhre befindlichen Enden solcher Drähte m den beiden Enden eines Multiplicators in Verbindung, so da sie dadurch zur Kette geschlossen werden, so erfolgt ein Ablenkung der Magnetnadel, zufolge welcher der mit der negativen Pole in Verbindung gewesene Draht sich positi gegen denjenigen verhält, welcher mit dem positiven Pole i Verbindung gestanden hat. Man erhält denselben Erfolg, wen man den Kork mit den Drähten herausnimmt und diese i eine Röhre mit einer gleichen Flüssigkeit, die aber keinen elektrischen Strome ausgesetzt gewesen war, bringt. Di Drähte, aus der Röhre herausgenommen oder auch in dersel ben gelassen, verlieren in kurzer Zeit ihre Ladung von selbs wieder, um so eher, je schwächer sie geladen waren.

Die Stärke der Ladung und die davon abhängige Daue der Zeit, während welcher jene Drähte sie behalten, häng von verschiedenen Umständen ab.

1) Alle Umstände, welche den chemischen Procefs in de Gasentbindungsröhre befördern, dienen auch zur Verstärkung

Digitized by Google

der Ladung, also insbesondere die Kraft des Stromes und die Beschaffenheit der in der Röhre befindlichen Flüssigkeit. So bringt Wasser gar keine merkliche Ladung hervor, Kochsalzauflösung schon eine stärkere, Salmiakauflösung eine noch stärkere, so wie verdünnte Schwefelsäure. Bei einem kräftig wirkenden Strome sind 6 bis 8 Minuten zur Hervorbringung des Maximums von Ladung hinreichend, und weit entfernt, durch das mehrere Stunden fortgesetzte Durchströmen dieses Maximum verstärken zu können, fällt vielmehr die Ladung schwächer aus, wenn die Säule selbst von der Art ist, dafs sie schon nach einigen Stunden an Wirksamkeit abnimmt. Bei geschwächter Wirksamkeit der Säule wird das Maximum oft erst nach einer halben oder ganzen Stunde erreicht. Die Dauer der Ladung, wenn die Drähte aus dem Kreise herausgenommen sind, richtet sich im Ganzen nach der Stärke dieser Ladung, und wenn dieselben erst einmal das Maximum erlangt haben, so ist ein längeres Verweilen im Kreise ohne weitern Einfluss auf die Dauer der Ladung.

2) Von einem grofsen Einflusse zeigt sich aber die besondere Natur der Drähte. Die metallischen Leiter sind nämlich um so geeigneter zur Annahme der Ladung, je näher sie dem negativen Ende der galvanischen Spannungsreihe stehen. Wir fanden unter fast gleichen Umständen folgende Ordnung in der Stärke der Ladung, von demjenigen ausgegangen, welches die stärkste Ladung annahm: *Graubraunsteinerz* (in Krystallen angewandt), *Graphit*, wohl ausgebrannte *Kohle*, *Platin*, *Gold*, *Silber*, *Kupfer*, *Messing*, *Eisen*, *Zinn*, *Blei*, *Zink*. Dieselbe Ordnung findet gleichfalls statt in Ansehung der Zeitdauer, während welcher sie die erlangte Ladung behielten, so dafs also z. B. Zink diese Eigenschaft, die dasselbe in und für sich nur in einem sehr schwachen Grade zeigte, in wenigen Secunden wieder verlor, während Graphit und besonders Kohle sie viele Stunden behielten. Es ist von den Beobachtern, welche diese Eigenschaft durch ihre Versuche aufgeklärt haben, versäumt worden, zu untersuchen, ob in allen diesen Fällen der mit dem positiven Pole in Verbindung gewesene Draht eine gleich starke negative Ladung angenommen habe, als der mit dem negativen Pole verbunden gewesene eine positive, eine Prüfung, die sich anstellen läfst, indem man jeden Draht besonders mit einem gleichartigen ungelade-

Digitized by Google

nen zur Kette schliefst. Fechner[1] glaubte bei Anwendur keiner sehr genauen Prüfungsmethode bei Platin- und Silbe drähten eine Gleichheit der relativen Ladung beobachtet z haben. Die sehr negativen Elektromotoren nehmen hierbei a ihrer Oberfläche eine auffallende Veränderung an; die Gold und Silberdrähte auf der negativen Seite überziehen sich m einer schwarzen Haut, das Graubraunsteinerz verliert seine Glanz und setzt einigermafsen dendritische Flocken ab. Ver wechselt man die Drähte oder Streifen, nachdem sie eine Ze lang der Einwirkung der Säule ausgesetzt gewesen sind, u hinlänglich geladen zu werden, in ihrer Verbindung mit de Säule, so dafs der vorher positive Draht nun zum negative Polardrahte gemacht wird, und umgekehrt, so vergehen stet einige Minuten, ehe die gewöhnliche Gasentwickelung an ih nen auftritt. Wenigstens fanden wir dieses bei Stücken vo Graphit und Kohle, auch bei Drähten von Gold, Silber, Ku pfer, und noch einigermafsen beim Messing. Wichtig für di Theorie dieser Erscheinungen ist der Umstand, dafs, um b der Schliefsung der so geladenen Drähte zur Kette den neue Strom zu erhalten, der die entgegengesetzte Richtung vo demjenigen hat den die Säule unterhalten hatte, es nicht er forderlich ist, dafs diejenigen Enden der Drähte, welche zu vor in der Flüssigkeit sich befanden, mit dieser selbst in Be rührung bleiben, oder mit einer andern frischen Flüssigkeit i Berührung gesetzt werden, sondern man erhält auch den elek trischen Strom, wenn man den Kork schnell herauszieht un die Drähte umkehrt, so dafs nun die Enden, die vorher sic aufserhalb befanden und auf welche die Flüssigkeit durchau nicht wirken konnte, in dieselbe eintauchen, wenn gleich di Wirkung schwächer ist und früher aufhört. De la Rive stellt den Versuch auf die Weise an, dafs er die aufserhalb de Flüssigkeit hervorragenden Drahtenden abschnitt, und sie dann gegen einander in einer Flüssigkeit prüfte. Es ist bei Anstel lung dieser Versuche nicht gehörig ausgemittelt worden, ob die aufserhalb befindlichen Stücke, die, wenn gleich nicht mit der Flüssigkeit in Berührung, doch an der Ladung Theil ge nommen hatten, sich mit in dem geschlossenen Kreise befun den haben, so dafs der elektrische Strom genöthigt war, durch

---

1 Biot's Experimentalphysik. Bd. III. S. 275.

Digitized b

sie hindurch zu gehen. An zur einfachen Kette geschlossenen Elektromotoren, nach der ersten Art diese Versuche anzustellen, hat man die Ladung nicht über die Grenze der Berührungsfläche mit der Flüssigkeit hinaus wahrgenommen, man hat vielmehr eine Platte eines negativen Metalls auf diese Art leicht in zwei verschiedene elektromotorische Hälften theilen, indem man blofs die eine Hälfte derselben mit dem feuchten Leiter in Berührung bringt, während man dieses Metall mit einem kräftig positiv wirkenden zur Kette schliefst. Reiben oder Waschen der Drähte nach erlangter Polarität hebt diese nicht auf, verringert sie aber jedesmal in einem gewissen Verhältnisse. Weder für sich allein durch das Elektrometer, noch durch Hülfe des Condensators untersucht zeigen übrigens diese Drähte oder Streifen, nachdem sie in den Ladungszustand versetzt worden sind, *irgend eine Spur von freier elektrischer Spannung*.

C. Die dritte Reihe von Thatsachen, die hierher gehören, bezieht sich auf diejenigen Versuche, durch welche in einem und demselben Metalle die entgegengesetzten Zustände gleichzeitig hervorgerufen werden oder ein und dasselbe Metallcontinuum eine entgegengesetzt polare Ladung erhält. Wir haben oben in dem Geschichtlichen bemerkt, dafs das ganze Gebiet dieser Erscheinungen durch einen solchen Versuch Gautherot's eröffnet wurde, Ritter aber war es, der schon damals diese Erscheinung nach allen Seiten verfolgte und die Hauptgesetze derselben bestimmte, ungeachtet ihm der Multiplicator mit der Magnetnadel, das empfindlichste Reagens für diese Art von Veränderungen, noch nicht zu Gebote stand. Das Phänomen in seiner gröfsten Einfachheit besteht darin, dafs irgend ein Metalldraht oder Streifen, welcher auf die Weise, wie im Artikel *Galvanismus* § 83. S. 879. angegeben ist, die Continuität des flüssigen Leiters, durch welchen der Strom der elektrischen Säule hindurch geführt wird, unterbricht, so dafs an seinen beiden Enden entgegengesetzte Pole auftreten, aus der Kette herausgenommen selbst Polarität zeigt, oder gleichsam für sich allein ein Paar heterogener Elektromotoren vorstellt, und zwar so, dafs das vorher negativ gewesene Ende (das dem + Pole der Säule gegenüber gestanden) nunmehr positive elektromotorische Thätigkeit, das dem negativen Pole der Säule zugekehrt gewesene positive Ende

negative Thätigkeit zeigt und der Draht oder Streifen, i
einem feuchten Leiter zur Kette geschlossen, einen elektrisch
Strom giebt, der aber gerade die entgegengesetzte Richtu
von derjenigen des elektrischen Stromes hat, durch welch
er im Kreise der Säule in diesen neuen (elektro-dynamisch
Zustand versetzt, galvanisirt, geladen wurde. Ritter
kannte diese neue Eigenschaft und ihr Gesetz nur durch Schl
ſsung des Drahtes mit seinen beiden Enden durch die s
empfindlichen Sinnorgane, die Zunge, die Augen, so w
durch präparirte Froschschenkel. Auf die Zunge wirkte nät
lich das Ende, welches vorher Wasserstoffgas gegeben hat
wie *Zink*, und brachte den sauern Geschmack hervor, wä
rend das andere wie *Kupfer* wirkte und einen *alkalisch*
Geschmack erzeugte. Entsprechend waren die Wirkungen a
das Auge und das Froschpräparat, doch vermochte Ritt
keine Wasserzersetzung dadurch zu bewirken. De la Ri
benutzte den Multiplicator mit der Magnetnadel zur Prüfu
dieses neuen Zustandes. Ein solcher galvanisirter Platindra
an das eine Ende des Multiplicators gebracht und mit de
andern Ende in eine Flüssigkeit getaucht, in welche ein a
andern Ende des Multiplicators angebrachter Platindraht gleic
falls eintaucht, bringt einen elektr. Strom hervor, dessen Ric
tung jenem obigen Gesetze gemäſs ist. Aber nicht bloſs d
beiden Enden des Drahtes, sondern jedes Stück desselb
wirkt, und zwar wie das Ende, dem es zunächst liegt. N
ist die Intensität der Wirkung um so geringer, als es si
der Mitte nähert, woselbst sie null ist, auch nimmt sie v
dem Ende an sehr rasch ab. Theilt man den nämlichen Dra
in zwei Theile und bringt beide an die Enden des Multipl
cators, so geschieht alles so, als wenn man zwei getrenn
Drähte, einen positiven und einen negativen, dahin verset
hätte. Die Richtung des Stromes ist in dem einen Falle w
in dem andern völlig dieselbe. Ein besonders interessant
Versuch, durch welchen De la Rive eine vollkommene U
bereinstimmung des elektrischen Zustandes mit dem magnet
schen nachzuweisen suchte, war der, daſs er einen solch
Draht an irgend einer Stelle durchschnitt. Soll diese Ueb
einstimmung statt finden, so muſs man an den zuvor ver
nigt gewesenen Enden, wenn man sie in dieselbe Flüssigk
taucht, und durch Verbindung der entgegengesetzten End

Digitized by Google

die Kette schliefst, entgegengesetzte Pole erhalten. Die Richtung des Stromes zeigt, dafs dieses allerdings der Fall ist, allein der Strom ist schwach und oft null, wie dieses stets geschieht, wenn man sich nicht von den Drähten derjenigen Stücke bedient, welche in die der Wirkung der Säule ausgesetzte Flüssigkeit eingetaucht waren.

Ritter bestimmte auch schon genau die Umstände, welche auf die Stärke dieser Doppelladung eines Drahtes Einfluss haben und welche, was namentlich die Beschaffenheit der Drähte, die Dauer der Einwirkung, die Stärke des el. Stromes u. s. w. betrifft, ganz dieselben sind, wie bei der einseitigen Ladung solcher Drähte oder Streifen. Ritter bemerkt dabei, dafs die Stärke der Ladung nur bis zu einer gewissen Anzahl Plattenpaare der Batterie zunahm, wie diese Anzahl, dann aber nach und nach stehn blieb, wenn auch jene Anzahl wuchs, ein Punct, welcher für jedes Metall ein anderer war. Auch bei solchen doppelt geladenen Drähten verschwand die Ladung allmälig wieder, selbst wenn sie sich überlassen waren, schneller aber, wenn sie zur Kette geschlossen wurden, und um so schneller, je besser der Leiter zweiter Classe in einer solchen Kette leitete. Die Erschöpfung der Ladung ist aber in solchen Fällen oft nur scheinbar. Man darf dann die Drähte nur 5 bis 10 Secunden ruhen lassen, und sie haben sich wieder erholt. Bei einem lange genug im Kreise der Batterie gewesenen Golddrahte will Ritter[1] diesen Wechsel der Erschöpfung und Wiedererholung öfters gegen 5- bis 6mal beobachtet haben. Selbst wenn er zwei unter gehörigen Umständen im Kreise der Batterie gewesene Golddrähte unter sich selbst verband, dafs an beiden Verbindungsstellen + mit — und — mit + zusammentrafen, wenn kein feuchter Leiter dazwischen trat, und er sie eine halbe oder ganze Stunde so verbunden liefs, war doch dadurch die Wirkung der Drähte für den nachherigen Versuch, wo die Zunge in die Kette trat, nur *geschwächt*, nicht *aufgehoben*, nach einigen Secunden Ruhe sammelte sie sich wieder und war von neuem in ziemlicher Stärke da. Nach einer Aeufserung von Ritter[2] soll diese Galvanisirung von Me-

1 Voigt's Magazin a. a. O. S. 113.
2 A. a. O. S. 111.

talldrähten auch eintreten, wenn sie ohne Zwischenkunft ein feuchten Leiters die Pole einer Batterie unmittelbar verbinde doch in diesem Falle in einem viel geringeren Grade.

d. Ladungssäulen.

So wie die Wirkung der einfachen Kette durch die Wi derholung derselben in der Volta'schen Säule vervielfält wird, so können nun auch die einfachen Ladungen und d davon abhängigen Wirkungen vervielfacht werden durch d Combination mehrerer Ladungselemente mit einander, und ei solche *Ladungssäule* verhält sich dann zur *einfachen Ladung kette* wie die Volta'sche Säule zur einfachen galvanisch Kette. Man kann nämlich mehrere homogene Metallplatten a einmal laden, indem man sie abwechselnd mit feuchten Sch ben schichtet und diese aus Abwechselungen blofs *eines* M talls und *eines* feuchten Leiters bestehende Säule in den Kr einer Volta'schen Säule bringt, d. h. sie an ihren beiden E den mit den Polen derselben in Verbindung setzt. Nim man eine solche secundäre Säule, nachdem der el. Strom ei Zeit lang durch sie hindurchgegangen ist, aus dem Kreise d ursprünglichen Säule heraus, so wird sie jetzt für sich a Wirkungen dieser Säule, wiewohl in schwächerem Grade, z gen, d. h. sie wird auf das Elektroskop wirken, Wasser z setzen, Schläge ertheilen, auf die Magnetnadel wirken, w wohl sie keine Spur von allen diesen Wirkungen vor dies Durchströmen gezeigt hatte. Indefs nehmen die Wirkung einer solchen Säule allmälig ab und verschwinden von selb sie kann dann aber immer wieder von neuem geladen we den, wenn sie von neuem in den Kreis der Volta'schen Sä le gebracht wird.

Vergleicht man die Richtung des el. Stromes einer so chen Ladungssäule, der durch ihre Schliefsung eingeleitet wi mit derjenigen der Volta'schen Säule, durch welche sie g laden wurde, so findet man, dafs dieselbe gerade die *entg gengesetzte* ist, was auch schon aus der Art der Vertheilu der Pole der Ladungssäule hervorgeht, indem jedesmal das nige Ende der Ladungssäule, welches mit dem positiven Po der Volta'schen Säule in Verbindung stand, den positive das entgegengesetzte den negativen Pol zeigt.

Digitized by Google

Auf die Stärke der Ladung äufsern alle die Umstände, welche auch die Stärke der Ladung der Drähte, Platten u. s. w. in der einfachen secundären Kette bestimmten, den gleichen Einfluſs.

1) Die Ladung ist unter sonst gleichen Umständen um so stärker, je näher die Metalle, welche mit den feuchten Pappen geschichtet sind, dem negativen Ende der galvanischen Spannungsreihe stehen. So nehmen von Metallen Goldplatten (z. B. Goldmünzen) die stärkste Ladung an, demnächst Silberplatten, dann Kupferplatten, Messingplatten, Eisenplatten, Zinnplatten, Bleiplatten, und eine solche Ladungssäule aus Zinkplatten zeigt eine kaum merkliche Wirkung. Die Dauer der Ladung ist auch um so länger, je näher die Metalle dem negativen Ende stehn, so hatte in MARIANINI'S Versuchen eine Goldplattensäule von acht Abwechselungen, deren Spannung ursprünglich 4° nach dem Elektrometer war, in ¾ Stunden nur 2° abgenommen, während eine Kupferplattensäule, deren Spannung ursprünglich aber nur 2° gewesen war, sie gänzlich verloren hatte. Wenn aber auch die Spannung in beiden Säulen gleich gewesen war, hatte sie sich in der Kupferplattensäule viel schneller verloren.

2) Die Ladung der secundären Säule ist um so kräftiger, je kräftiger der elektrische Strom der ursprünglichen Säule ist, ein je besserer Leiter also die Flüssigkeit in dieser ist, je gröfser die Berührungsfläche derselben mit den Metallen, je gröfser die Zahl der Plattenpaare u. s. w.

3) Eine Ladungssäule nimmt eine un so stärkere Ladung an, je gröfser die Zahl der mit feuchten Pappen abwechselnd geschichteten Platten ist, doch erfordert in demselben Verhältnisse, in welchem die Zahl der Abwechselungen zunimmt, die Ladungssäule auch einen stärkern el. Strom, um eine starke Ladung anzunehmen.

4) Nach RITTER soll die Ladung der secundären Säule unter sonst gleichen Umständen um so stärker seyn, ein je schlechterer Leiter der Elektricität die Flüssigkeit in der secundären Säule ist, so sollen sich bei gleicher Volta'scher Batterie von 100 Zink-Kupfer-Platten mit Kochsalzlösung eine Säule aus 40mal Kupfer und Salmiakauflösung am schwächsten, stärker mit Kochsalzauflösung, am stärksten mit destillir-

Digitized by Google

tem Wasser geladen haben. Doch hat dieses seine Grenzen denn 40mal Kupfer mit reinem Weingeist nahm fast gar kein Ladung an. Nach Marianini ist jedoch diese schwächere Ladung bei Anwendung eines bessern Leiters nur scheinbar und rührt vielmehr von der sehr schnell von selbst erfolgenden Entladung her, wenn die Ladungssäule aus dem Kreis der Volta'schen herausgenommen ist. Die Dicke des feuchten Leiters in der secundären Säule äufsert auch ihren Einfluſs Nach Ritter's Versuchen war eine Dicke von einer Linie günstiger, als von einer halben Linie und von zwei Linien bei Anwendung einer Volta'schen Säule von 90 Zink-Kupferplatten mit Kochsalzauflösung. Marianini fand bei Anwendung einer secundären Säule in Gestalt eines Becherapparats die Ladung um so schwächer, je weiter die Kupferplatten von einander abstanden.

Bei derselben Anzahl von Kupferplatten und feuchten Pappen ist die Wirkung der Ladung eine höchst verschiedene je nachdem man dieselben unter einander vertheilt. Man setze z. B. von 64 Kupferplatten je 32 und 32 zusammen, so daſs sie ein Continuum bilden, und bringe 64 ebenfalls zu einem Continuum verbundene mit Wasser genäſste Pappen dazwischen, so ladet diese Combination sich unter allen möglichen Verbindungen jener 64 Kupferplatten und feuchten Pappen am schwächsten oder leitet nach der Ansicht, welche Ritter vom Ladungsprocesse aufstellt, am besten. Man ordne sie ferner so: 21 K. 32 P. 22 K. 32 P. 21 K.; diese Verbindung ladet sich schon stärker. Dann vertheile man sie so daſs Pappe von Kupfer 2mal, 3mal, 4mal, 8mal, 16mal 32mal, endlich 64mal unterbrochen werde, und bei jeder häufigeren Unterbrechung ist die Ladung stärker (die Leitung nach Ritter geringer). Es kommt also alles hierbei auf die Zahl der Unterbrechungen oder die Paare Metall und feuchte Pappe an, die auf einander in gleicher Ordnung folgen, und man begreift von selbst, daſs, wenn man jede von den 64 Platten Kupfer und feuchten Pappen in der letzten Anordnung wieder in zwei Theile theilt und so schichtet, daſs nun 128 solcher Unterbrechungen von K und P eintreten, die Ladung abermals stärker ist. Sofern Ritter hierbei Zunahme der Ladung mit Abnahme der Leitung für gleichbedeutend hält ergiebt sich eben damit das Resultat, daſs man aus zwei ge-

geben Massen guter Leiter einen dritten zu construiren vermag, welcher schlechter und sehr viel schlechter leitet, als der schlechteste von jenen beiden, ja welcher fast ganz isolirt. Bei Anstellung der Versuche mit Kupferplatten, die auf so verschiedene Weise durch die feuchten Pappen unterbrochen wurden, glaubte Ritter zu dem merkwürdigen Resultate gelangt zu seyn, dafs das Maximum von Ladung für die chemischen Wirkungen ein ganz anderes sey, als für die physiologischen (Schläge, Geschmackempfindungen), ja dafs sich die letztere Wirkung ganz ohne alle chemische darstellen lasse, so wie dann auch Combinationen in der Sphäre der Ladungssäulen vorkommen sollen, wo chemische Wirkungen ganz ohne physiologische dargestellt werden können, welches demnach auf nichts Geringeres als die gänzliche Verschiedenheit der Ursache der chemischen und physiologischen Wirkungen hindeutet. Den Beweis für die erstere Trennung sollen nun eben jene Säulen, in welchen die feuchten Leiter gar nicht, dann 1mal, dann 2mal, 4mal, 8mal, 16mal, 32mal, 64mal, 128mal und 256mal von den Kupferplatten von wenigstens 2 Quadratzoll Oberfläche unterbrochen waren und welche Säulen nach der Reihe 4 bis 5 Minuten in den Kreis einer Volta'schen Säule von Z K und gesättigter Kochsalzauflösung gebracht wurden, geliefert haben.

Digitized by Google

Spannung.	*Physiologische Wirkung.*	*Chemische Wirkung.*
(Durch ein sehr empfindliches Goldblatt-Elektrometer untersucht.)	(Die Hände sind dazu mit Salmiakauflösung befeuchtet und mit Metallmassen armirt.)	(In einer Gasröhre mit Golddrähten, deren Enden ¼ Linie von einander abstehn.)
No. I. Noch unmerklich	blofs zuweilen ein höchst schwacher Geschmack	noch kein Gas
No. II. (1) kaum zu entdecken	merklicher Geschmack	zuweilen einige Bläschen
No. III. (2) deutlich etwas	stärkerer Geschmack und schwacher Schlag	bestimmt Gas
No. IV. (4) mehr als in III.	starker Schlag	mehr Gas
No. V. (8) gröfser als in IV.	noch stärkerer Schlag	wieder mehr Gas
No. VI. (16) gröfser als in V.	noch stärkerer Schlag	aufserordentlich vie Gas
No. VII. (32) gröfser als in VI.	immer noch stärkerer Schlag	zwar noch viel, abe doch weniger als i VI.
No. VIII. (64) gröfser als in VII.	wieder noch stärkerer Schlag	wieder weniger Gas
No. IX. (128) gröfser als in VIII.	aufserordentlich starker Schlag bis in die Schultern	nicht eine Spur vo Gas
No. X. (256) gröfser als in IX.	noch starker Schlag, aber schwächer als in VIII.	keine Spur von Gas

Ein ganz ähnliches Resultat will Ritter noch auf ein andere Weise erhalten haben, indem er sich einer ganz an dern Art von Combinationen bediente, die gleichfalls Ladungs phänomene zeigten. Er baute nämlich eine Säule aus 64 La gen Zink, Kupfer und wassernassen Pappen, je 32 derselbe standen sich mit gleichnamigen Polen entgegen und die ganz Säule gab für sich allein durchaus keine Wirkung. Eine an dere aus ebensoviel und gleichen Lagen war so gebaut, daf sogleich auf jede eine Lage eine zweite folgte, die ihr entge

Digitized by Google

gesund. Sie zeigte für sich ebenfalls keine Wirkung. Erstere Säule heifse α, letztere β. Die Volta'sche Batterie zu den Versuchen war die vorige und zwei Tage alt, die Säulen α und β ebenfalls. α und β wurden über einander gesetzt und das obere Ende von α mit dem einen, das untere Ende von β mit dem andern Pole der Batterie verbunden. Nach der Trennung aus dem Kreise erhielt Ritter von α und β zusammen starke Schläge, von α und $\frac{1}{2}$ β noch stärkere, von α allein ohne β noch sehr starke, stärkere als alle übrigen, von β allein ohne α etwas schwächere, von $\frac{1}{2}$ α, so dafs von 32 Lagen je 16 sich einander entgegenstanden, wieder schwächere Schläge u. s. f., aber in allen diesen Fällen keine Spur von chemischer Wirkung. So viel Auffallendes diese Versuche dem ersten Anscheine nach haben, so verschwindet dasselbe und damit die daraus gezogene Folgerung auf eine wesentliche Verschiedenheit der Ursache der physiologischen und chemischen Wirkungen, wenn man erwägt, dafs die Schläge mehr von der Gröfse der Spannung und einer nur auf kurze Zeit eingeschränkten Entladung abhängen, die chemischen Wirkungen aber nur durch einen continuirlichen und einigermafsen gleichförmigen elektrischen Strom zu Stande kommen, zu dessen Unterhaltung die Bedingungen in einer stärker geladenen Ladungssäule fehlen.

Ritter stellte noch viele andere Versuche mit seinen Ladungssäulen, vorzüglich durch Combination mehrerer zu einer gröfseren, so wie derselben mit einer gewöhnlichen Volta'schen Säule an, in welcher sich die Ladungssäule vollkommen wie eine gewöhnliche Volta'sche Säule verhielt.

Von seinen Beobachtungen über die Rückwirkung einer Ladungssäule auf eine Volta'sche beim Vorgange der Ladung verdient hier die Hauptthatsache erwähnt zu werden, dafs im Augenblicke, wo eine Ladungssäule mit einer Volta'schen Batterie verbunden wird, die Spannung letzterer auf einen Grad herabfällt, der um so niedriger ist, je gröfser die Leitung der Ladungssäule selbst ist, die Spannung dann aber nachmals wieder zu steigen anfängt und endlich bei einem Grade stehn bleibt, der um so mehr vom niedrigsten verschieden ist, je gröfser die Spannung ist, mit welcher die Ladungssäule aus der Verbindung hervorgeht. Ist eine Gasröhre im Verbindungskreise, so ist im Augenblicke der Schliefsung desselben die Gasentwicke-

Digitized by Google

lung stärker als in irgend einem folgenden Augenblicke; v hier an nimmt sie zusehends ab und bleibt endlich bei ein Grade stehn, von dem sie nicht weiter abweicht. Ist dies so ist die Säule auf ihr Maximum geladen, und der Grad Ladung selbst verhält sich wie die Leitung, welche die L dungssäule nach der Ladung noch fortgewährt.

Von Marianini's Versuchen, die für die Theorie Ladung von besonderer Wichtigkeit sind, verdienen hier no folgende angeführt zu werden. Die Ladung oder polare Spa nung an den Enden der Säule ist nichts Festes, an den P len selbst Haftendes, und kann daher mit diesen auch nic versetzt werden, sondern geht jedesmal aus einer innern Th tigkeit derselben hervor; denn als Marianini bei einer ge denen Säule von 12 Kupferplatten die 6 obersten an die Ste der untersten und diese an die Stelle von jenen brach zeigte sich die Spannung durch den Condensator und Elektrometer untersucht ganz unverändert.

Dafs die feuchten Pappen der Ladungsäule nicht als Quellen der Elektricität betrachtet werden können, dafs selbst nicht durch eine etwaige chemische Veränderung ih Flüssigkeit, die sie im Kreise der Volta'schen Säule erlitt das eigentliche Agens der elektromotorischen Thätigkeit Säule seyen, bewies der Versuch, dafs die nassen Tuchsch ben, aus einer geladenen Säule schnell herausgenommen u zwischen frische Kupferplatten gebracht, keine Spur von Wi kung gaben, während, wenn an die Stelle dieser Tuchsch ben andere mit Salzwasser befeuchtete eingeschoben wurd die Spannung sich nur um so viel vermindert zeigte, als Verhältnisse der Zeit zu erwarten war.

Um auch den Zweifel zu beseitigen, dafs etwa eine dü ne Schicht Flüssigkeit, die an den Kupferplatten hängen g blieben war, hierbei mitgewirkt habe, wurden die Metallpl ten, ehe die neuen Tuchscheiben dazwischen gelegt wurde mit einem nassen Tuche abgerieben, dennoch zeigte sich no die el. Ladung, derselbe Erfolg fand sogar statt, als die M tallplatten noch aufserdem abgetrocknet wurden, ja sogar, solche abgeriebene Platten längere Zeit vor aller Feuchtigk der Luft wohl verwahrt waren, konnte Marianini nach lä gerer Zeit eine neue wirksame Säule mit ihnen erbauen, we er sie mit frischen Tuchscheiben schichtete. Mit gleiche

Digitized by Google

Erfolge stellte MARIANINI solche Versuche mit Becherapparaten an. Wurden die Kupferplatten aus ihren Bechern, in welchen je ein Paar, das durch einen Bügel zusammenhing, die Verbindung von einem Becher zum andern machte, herausgenommen und in andere gehängt, so zeigten die Enden gleichfalls polare Spannung, doch muſs man sich hüten, die Platten nicht tiefer als in die vorigen Becher hineinzuhängen, weil sonst die geladene Hälfte der Platte mit der ungeladenen eine partielle geschlossene Kette bildet, wodurch die polare Spannung sehr geschwächt oder ganz aufgehoben wird.

C. Die Theorie.

Die richtige Erklärung der Erscheinungen der Ladungssäule hängt auf das Innigste mit der genaueren Kenntniſs des Vorganges der Ladung der einzelnen Metalle in Form von Streifen oder Drähten im Kreise der Volta'schen Säule zusammen. Indessen hat man diesen Weg im Anfange nicht eingeschlagen, selbst RITTER nicht, der doch von da aus zur Ladungssäule gelangt war. Wenn man die etwas künstliche Darstellung RITTER's genau erwägt, so ergiebt sich deutlich, daſs er in der Ladungssäule eine Ladung im engern Sinne annimmt, nach Art der Ladung einer el. Batterie oder Flasche durch eine gewöhnliche Elektrisirmaschine, und das Räthsel, daſs hier an so guten Leitern eine Ladung auftritt, glaubt er durch den allgemeinen Begriff von Ladung erklärt zu haben, die jedesmal dann eintrete, wenn aus irgend einer Quelle von Elektricität dieselbe so reichlich zuströmt, daſs bei dem Momente von Isolation, das auch bei den besten Leitern noch in Betracht kommt, nicht alles ebenso schnell abgeleitet werden kann, als es zugeleitet wird, wo dann der nicht abgeleitete Ueberschuſs die eigentliche Ladung ausmacht. Nach RITTER soll also der *Leitungswiderstand*, der durch die Abwechselung der Metallplatten mit den feuchten Scheiben hervorgebracht wird, die eigentliche Bedingung der Ladung seyn und eben deswegen die Ladung zunehmen, einerseits durch Vergrößerung des Leitungswiderstandes in Folge der Vervielfältigung der Abwechselungen der Metallplatten mit den feuchten Leitern, andererseits durch Verstärkung des elektrischen Stromes von Seiten der Volta'schen Säule, wodurch nothwendig

Digitized by Google

der Ueberschufs dessen, was nicht fortgeleitet wird und w
also zur Ladung verwendet wird, zunehmen mufs. Es
ganz klar, dafs Ritter den ganzen Vorrath von Elektricit
durch welchen die Ladungssäule nachher ihre Wirkung
hervorbringt, als von der ursprünglichen Säule ausgegang
ansehe; dieses ergiebt sich besonders auch daraus, d
er die Ladung dann als vollkommen geschehn betracht
wenn die Ladungssäule ebensoviel fortleitet, als von d
Volta'schen Säule zugeführt wird, welcher Zeitpunct dar
erkennbar ist, dafs in einer mit in den Kreis gebracht
Gasröhre die Abnahme der Gasentwickelung nun nicht weit
mehr fortschreitet, sondern gleichförmig geworden ist. Ebe
diese Ansicht Ritter's ergiebt sich noch daraus, dafs er d
Begriff von Capacität hier anwendbar findet und nach de
Producte von dieser in die erhaltene Spannung die Gröfse d
Ladung bestimmt, wobei er freilich sich nicht genauer da
über erklärt, von welchen Umständen die Gröfse dieser C
pacität abhänge. Die Ladung selbst soll nach ihm an den Meta
platten selbst haften und nicht an den feuchten Pappen, d
nur die Bedingung sind, dafs es zur Ladung kommen kan
die feuchten Leiter sollen der Entladung so wenig nütze
dafs sie vielmehr dieselbe aufserordentlich vermindern, und
komme nur darauf an, nach geschehener Ladung blofs auf irge
eine Weise den feuchten Leiter aus dem Apparate entfern
und alle getrennten Metallplatten in unmittelbare Contigui
zu versetzen, um die Entladungsgröfse des Ganzen um e
sehr Vielfaches zu erhöhn. Diese Theorie, die man, we
man nicht etwa den Ausdrücken Ritter's einen ganz ande
als den gebräuchlichen Sinn beilegen will, nicht anders au
fassen kann, als sie hier dargestellt ist, hat nun Mariani
durch viele Versuche bestritten und als Haupteinwurf gelte
gemacht, dafs bei Zunahme des Leitungswiderstandes in d
Ladungssäule, also bei Verlangsamung des elektrischen Str
mes durch dieselbe die Ladung vielmehr geringer ausfall
wenn man nämlich stets dieselbe Flüssigkeit nimmt. Beso
ders scheint uns aber in dem Versuche Marianini's, dafs b
schneller Umbauung der Säule, indem man die obersten zu d
untersten macht und umgekehrt die untersten zu den obe
sten, doch so, dafs die verschiedenen Flächen ihre relati
Lage unverändert behalten, in der Ladung und der Verthe

Digitized by Google

lung der Pole nicht das Geringste verändert wird, ein entscheidender Beweis gegen eine gleichsam entstandene fixirte Ladung zu sprechen, wie sie RITTER annimmt. Eine ebenso unhaltbare Theorie der Ladung hat VOLTA selbst aufgestellt, indem er sie auf eine sogenannte Säule zweiter Art, die aus zwei feuchten und einem festen Leiter besteht, zurückzuführen versucht hat. Durch den elektrischen Strom der primären Säule soll nämlich eine Zersetzung des flüssigen Leiters bewirkt werden, eine alkalische Flüssigkeit an der einen Fläche der Metall-(Kupfer-) Platte, eine saure an der andern Fläche sich ansammeln, wodurch, nachdem die Ladungssäule aus dem Kreise der Volta'schen Säule herausgetreten ist, nothwendig bei Schliefsung der Ladungssäule ein dem vorigen Strome entgegengesetzter hervorgebracht werden müsse. Durch eben diesen Strom werden aber die alkalische und saure Flüssigkeit zu einer entgegengesetzten Vertheilung getrieben werden und eben damit die Ursache des elektrischen Stroms und dieser mit ihr schnell abnehmen und auf 0 herabsinken. Auch die ungeschlossene Säule müfste so scheinbar nach innen sich entladen, weil die getrennten Flüssigkeiten, die durch den elektrischen Strom nicht mehr getrennt gehalten werden, sich allmälig wieder zur Neutralität vereinigen müfsten. Da auch bei der Anwendung des destillirten Wassers eine schwache Säure (Salpetersäure) und Ammoniak gebildet werden, so liegt in diesen der Grund der Bildung einer Säule zweiter Art, die aber sehr schwach seyn mufs, da nur geringe Spuren von diesen Flüssigkeiten sich bilden. Diese Erklärung wird aber durch den einzigen Versuch vollkommen über den Haufen geworfen, dafs die herausgenommenen, wohl abgewaschenen und getrocknet zwischen ganz frische Pappen gelegten Metallscheiben in der Hauptsache dieselben Erscheinungen zeigen, wie wenn sie sich noch zwischen ihren ersten feuchten Leitern befänden. In den Metallplatten selbst ist also die wahre Ursache der Erscheinungen zu suchen, und MARIANINI hat von dieser Seite das Phänomen vollkommen richtig aufgefafst, indem er jede einzelne Metallplatte als das Aequivalent zweier Elektromotoren betrachtet, deren entgegengesetzte Oberflächen sich gegen einander wie ein positives und negatives Metall verhalten, wodurch dann die Ladungssäule selbst als eine gewöhnliche Volta'sche Säule erscheint. Die eine Oberfläche,

Digitized by Google

in welche die Elektricität einströmt (oder gegen welche der Annahme zweier el. Ströme der positive Strom gerich ist), an welcher folglich der Wasserstoff auftritt, hat sich d positiven Ende der Spannungsreihe, die andere Oberfläc aus welcher die Elektricität austritt (gegen welche der nega ve Strom gerichtet ist), an welcher der Sauerstoff und Oxydation auftritt, hat sich dem negativen Ende der Sp nungsreihe mehr genähert, und das vorher homogene Meta Continuum hat sich demnach in zwei heterogene Metalle g trennt, stellt ein Plattenpaar dar, und es folgt aus der Art Vertheilung dieser Veränderung nothwendig, dafs bei Schliefsung der Ladungssäule der elektrische Strom eine e gegengesetzte Richtung von derjenigen haben mufs, durch w che die Säule geladen wurde. Alle Erscheinungen, welc die Ladungssäule darbietet, erklären sich nun sehr ungezwu gen von selbst, und man begreift leicht, warum durch Schliefsung die Säule sehr bald ihre Wirksamkeit verlie mufs, weil der entgegengesetzte Strom dieselbe Veränderu dann in entgegengesetzter Richtung hervorbringen, d. h. vorige Beschaffenheit der Metallplatten herstellen mufs, wo die Ladung aufhört. Schwieriger ist die Erklärung der a mäligen Abnahme und des baldigen gänzlichen Verschwind aller Thätigkeit der Ladungssäule, auch wenn sie nicht g schlossen wird und selbst, auf das sorgfältigste mit Firnifs u geben, gegen die Einwirkung der Luft auf das vollkommen geschützt ist. Die Erklärung dieser Selbstentladung hängt das genaueste mit der Einsicht in das wahre Wesen der V änderung, welche die Metalle in Folge des Durchgangs elektrischen Stromes erleiden, zusammen, eine Veränderung, w che bis jetzt noch nicht gehörig aufgeklärt ist. Als nächs Erklärungsgrund bietet sich eine entgegengesetzte chemisc Veränderung, welche die Metalle an ihren entgegengeset ten Oberflächen erleiden, dar, welche übereinstimmend mit der entgegengesetzten Veränderung, welche einerlei M tallstreifen, wenn der eine als Leiter des positiven, der a dere als Leiter des negativen Pols dient, erleiden, worauf w schon oben aufmerksam gemacht haben. Wirklich hat au schon Brugnatelli [1] aus dieser Veränderung die Thätigk

1 G. XXII. 202.

Digitized by Google

der secundären Säule abgeleitet und als entscheidenden Beweis dafür den Umstand angeführt, dafs gerade diejenigen Elektromotoren, welche sich zur Erbauung einer secundären Säule am geeignetsten zeigen, als Kohle, Gold und Silber, eben diejenigen sind, welche da, wo sie mit negativer Polarität auftreten, eine sehr auffallende Veränderung erleiden, nämlich sich hydrogenisiren, und das gebildete Hydrür, welches, wie sich Brugnatelli überzeugte, ein sehr vollkommener Leiter der Elektricität ist, als sehr wirksamer positiver Elektromotor gegen den andern Draht oder die entgegengesetzte Oberfläche, welche diese Veränderung nicht erlitten hat, auftritt. Brugnatelli führt namentlich von der Kohle an, dafs sie als Leiter des negativen Pols ausbleiche in Folge des Wasserstoffs, der sich nicht als Gas an ihr entwickele, sondern sich mit derselben verbinde. Am Graubraunsteinerz habe ich selbst eine analoge Veränderung wahrgenommen, indem sich an derjenigen Stelle, welche als Leiter des negativen Pols dient, kein Gas entwickelt und sich braune Flecken dendritisch anlegen. An Gold und Silber bildet das Hydrür einen deutlich schwarzen Ueberzug. Man würde diesemnach begreifen, warum gerade diese nach dem negativen Ende der Spannungsreihe hin gelegenen Elektromotoren zu den Ladungsphänomenen vorzüglich geschickt sind, dagegen die mehr positiven Metalle schwache und das Zink so gut wie gar keine Wirkung geben, weil diese sich mit dem Hydrogen nicht verbinden und die Oxydschicht, die sich an der positiven Seite bildet, wegen ihrer isolirenden Eigenschaft in den elektromotorischen Proceſs nicht eingehn kann. Solche Hydrogenschichten, auch wenn sie nur höchst oberflächlich sind, gleichsam nur einen Hauch bilden, können doch schon vollkommen hinreichen, da es ja bekannt ist, dafs kleine Veränderungen in der Glätte der Oberfläche der Metalle ihren elektromotorischen Werth schon verändern, und Platin nebst Kupfer könnten immerhin eine solche oberflächliche Veränderung durch Hydrogenisirung erlitten haben, wenn sie gleich an diesen Metallen äufserlich nicht in die Augen fällt. Allein diese Erklärung reicht nicht mehr in allen Fällen aus, seitdem De la Rive und Pfaff gezeigt haben, dafs die Ladungsveränderung sich nicht blofs auf diejenige Metalloberfläche einschränkt, welche mit der Flüssigkeit in Berührung gestanden

und möglicher Weise eine chemische Veränderung erlitten h
ben könnte, sondern sich auf denjenigen Theil des Met
erstreckt, welcher dem elektrischen Strome als Leiter dien
Ebendieses hat De la Rive bewogen, die ganze Erscheinu
auf einen eigenthümlichen Zustand zu beziehn, den er
elektrodynamischen nennt, indem er annimmt, dafs durch
Durchströmen der Elektricität durch feste Leiter das elekt
sche Gleichgewicht in denselben in der Richtung dieses St
mes gestört werde, wodurch dann, sobald die Ursache d
ser Störung zu wirken aufhöre, ein entgegengesetzter Str
veranlafst werden müsse, sofern dieses Gleichgewicht s
nach der entgegengesetzten Richtung wieder herstellen müs

„Ich nehme an" sagt De la Rive[1], „dafs der in ein
Leiter erregte elektrische Strom nichts anderes sey, als e
Folge von raschen Zersetzungen und Wiederherstellungen
feinen Theilchen eigenthümlicher Elektricität. Um nun zu
greifen, wie in einem Metallstreifen, Drahte u. s. w., der
B. mit dem positiven Pole in Verbindung stand, die Elekt
cität frei werde, betrachten wir nur eine Reihe von Theilch
da für alle übrige dasselbe gilt. Das Theilchen a, welc
unmittelbar mit der Flüssigkeit in Berührung steht, ist +
Seiten der Flüssigkeit und — auf Seiten des folgenden The
chens, das Theilchen b ist + gegen das — des Theilch
a und — auf Seiten des folgenden Theilchens c, und so f
Das + des Theilchens a wird neutralisirt vom — des zerse
ten flüssigen Theilchens, das + des Theilchens b vom —
Theilchens a u. s. w. Ich nehme den Draht heraus; er
findet sich dann in einem Zustande, der in Bezug auf
Elektricität demjenigen ziemlich ähnlich ist, den man n
der Coulomb'schen Theorie im Stahle hinsichtlich des M
gnetismus annimmt. Sein positives Ende ist nicht mehr du
das negative Element der Flüssigkeit neutralisirt und kann s
nicht vereinigen mit dem — desselben Theilchens a, welc
von dem + des Theilchens b zurückgehalten wird, wen
stens wenn man, wie beim Magnet, eine Art von Coërcit
kraft annimmt. Der am negativen Ende der Säule befesti
Draht befindet sich in einem ähnlichen Zustande, nur w
hier das — durch das + und das + durch das — erse

1 Poggendorff's Ann. X. 431.

Digitized by Google

Verbinde ich die so elektrisirten Drähte entweder unter sich oder mit einem andern Leiter mittelst des Multiplicators, so wird jedes Theilchen sich wieder in seinen natürlichen el. Zustand versetzen können und sein + durch sein eigenes — und nicht durch das — des folgenden neutralisiren. Diese Wiederherstellung wird zu einem Strome von entgegengesetzter Richtung Veranlassung geben, wie der, welcher die Drähte elektrisirte. Denn dieser geht in jedem Theilchen vom — zum +, d. h. in der Richtung, in welcher die + fortgeführt werden, wie es der obere Pfeil anzeigt, der andere, welcher die Wiederherstellung bewirkt, geht ebenfalls in der Richtung, in der die + fortgeführt werden, wie es der untere Pfeil andeutet. Es ist daher nicht wunderbar, dafs der von den Drähten entwickelte Strom, dem Versuche gemäfs, in seiner Richtung dem Strome entgegengesetzt ist, welcher ihnen von dem elektrodynamischen Vermögen eingeprägt wird." Fig. 22. Die Nothwendigkeit der Mitwirkung des flüssigen Leiters sucht De la Rive auf folgende Weise zu erklären: „Wenn die Leiter, welche zu zweien die vier Enden verbinden, beide metallischer Art sind, so ist kein Grund vorhanden, weshalb das Gleichgewicht sich in der einen Richtung mehr als in der andern wieder herstellen sollte, während, wenn einer der Leiter ein flüssiger ist, seine Gegenwart, indem sie die Kette schliefst (eine nothwendige Bedingung zu der Wiederherstellung), nicht hindert, dafs der Strom mit gröfserer Leichtigkeit durch den metallischen Leiter geht und den Drähten erlaubt, sich zu entladen und auf ihren natürlichen Zustand zurückzukommen."

Diese Erklärung bringt die elektrische Ladung unter einerlei Schema mit der Art der Vertheilung der magnetischen Polarität in einem Magnete, gemäfs der Coulomb'schen Ansicht, und diese Analogie glaubt De la Rive besonders durch die schon oben erwähnte Beobachtung an einem Platindrahte bestätigt, der für sich allein beide elektrische Pole zeigt, wenn er ein Verbindungsglied zwischen zwei Flüssigkeiten gebildet hat, in deren jede einer der Polardrähte einer Volta'schen Säule getaucht war, und der in zwei Hälften getheilt abermals an beiden Enden jeder einzelnen Hälfte entgegengesetzte Pole zeigt. Von jener Coërcitivkraft, die auch die besten Leiter noch haben, hängt es auch ab, dafs einige Zeit erforderlich ist, bis

die Drähte ihr Maximum von Ladung erhalten und dafs die selbst mehr oder weniger lange dauert. Wenn man nun au der Idee De la Rive's von dem Vorgange der Leitung be stimmt, wenn man ferner auch begreift, warum die Wiede herstellung des elektrischen Gleichgewichts nach geschehen Ladung nur durch einen Strom in entgegengesetzter Richtu geschehen kann, so ist die Nothwendigkeit der Bedingung d Schliefsung der Kette durch einen flüssigen Leiter durchs nicht nachgewiesen, sondern nur postulirt, man sollte vielme erwarten, dafs, wenn jeder der geladenen Drähte mit dem e nen Ende mit dem Multiplicator verbunden ist, dieser je Wiederherstellung des Gleichgewichts nur um so schnell vermitteln würde; allein bei dieser halben Schliefsung zei sich auch nicht die leiseste Spur eines el. Stromes, die M gnetnadel wird nicht im geringsten afficirt.

Wenn De la Rive diese Art der Reaction der Metal nachdem sie aus dem Kreise der primären Säule getreten sin durch welche ihnen gleichsam ihr neuer Zustand aufgezwu gen worden ist, durch Anknüpfung an bekannte Phänome und durch eine wirkliche Construction des Vorganges begrei lich zu machen gesucht hat, so hat dagegen Pohl [1] diese R action der Metalle ganz willkürlich auf eine Kraft derselb zurückgeführt, die in nichts von dem sich unterscheidet, w man in der Physik eine *Qualitas occulta* nennt. Ihm zufol soll nämlich der Zustand, in welchen die Metalle in der L dungssäule (oder in der einfachen Ladungskette) während i rer Verbindung mit den Polen der Volta'schen Säule verse werden, ein *gezwungener* seyn, aus welchem sie sich dur eine schon mit ihrer metallischen Natur gegebene Reaction kraft wieder in ihren vorigen Zustand zurückzuversetzen s chen, eine Kraft, die sogleich thätig wird, sowie der *äufse Zwang* aufhört, und welche sie alsdann sogar den natürlichen Z stand nach einer der vorhergehenden entgegengesetzten Richtu überschreiten macht, sowie eine Saite, die sich wieder he stellt, über die ursprüngliche gerade Richtung hinausgeht. S diese Analogie hier gelten, so müfste die Ladungssäule gera

---

1 Ueber die Phänomene der sogenannten elektrischen Ladu in Kastner's Archiv VI. 385. und in der Schrift: Der Proceſs der g vanischen Kette. S. 142.

Digitized by Google

so, wie die Saite, dann aber auch wieder, nachdem sie über ihn natürlichen Zustand hinausgegangen, zu diesem nicht bis zurückkehren, sondern abermals über diesen hinaus, aber zu ihren frühern *sogenannten gezwungenen* Zustand, zurückkehren und auf diese Weise nur durch Oscillationen zwischen wechselnden Polaritäten ihren natürlichen Zustand erreichen. Nichts dergleichen hat man bis jetzt bei der Ladungssäule beobachtet, ihre Polarität nimmt vielmehr stufenweise ab, zeigt kein Fallen und Steigen, noch viel weniger eine Umkehrung. Und was hat man an dieser Reactionskraft im Grunde mehr gewonnen, als einen andern Ausdruck für die reine Thatsache? Man erinnert sich dabei unwillkürlich an die Warnung Haller's, doch nicht über das natürliche Kleid der Dinge, an welchem sich unser Auge stöfst, noch ein neues zu ziehn, an welchem sich unsere Einbildungskraft stöfst, noch ehe das Auge bis zu jenem undurchschaubaren hindurchgedrungen ist.

Wir gestehn aufrichtig, dafs wir selbst uns bis jetzt nicht im Stande fühlen, eine ganz befriedigende Erklärung der Ladungserscheinung zu geben. Soviel halten wir für ausgemacht, dafs eigentliche chemische Veränderungen der Metalle hier nicht in Anspruch genommen werden können, wenn sie gleich in andern Fällen zu ähnlichen Erscheinungen Veranlassung geben. Die Elektricität selbst mufs hier als die nächste Ursache der Veränderung des elektromotorischen Werthes der Metalle angesehn werden, nicht jene, welche sich mit freier Spannung an der Oberfläche der Leiter thätig zeigt, sondern jene, welche gleichsam tiefer in das Innere eingedrungen ist und eine neue elektrische Begeistung der kleinsten Theilchen bedingt. Dafs der elektrische Strom der Säule bei seinem Durchgange durch Leiter die Masse derselben wirklich in Anspruch nimmt, nicht blofs an ihrer Oberfläche fortgeleitet wird, sondern ins Innerste eindringt, ist besonders durch H. Davy's Versuche[1] aufser allen Zweifel gesetzt worden. Durch dieses Eindringen ist ohne Zweifel die Veränderung bedingt, welche wir Ladung nennen. Sie scheint den elektromotorischen Charakter, nach dem Gegensatze der Elektricitäten, von welchen sie abhängt, auf eine entgegengesetzte Weise zu bestimmen und durch das coërcitive Moment eine Zeit lang in den Me-

1 Phil. Trans. 1821. P. II. p. 434.

tallen festgehalten zu werden. Darum ist es aber nicht etv eine Anhäufung von relativ gebundener Elektricität, die si dann wieder allmälig entladet, welche die Thätigkeit der L dungssäule als nächste Ursache bestimmt, sondern nur als en fernte, insofern der elektromotorische Charakter dadurch b stimmt wird, und eben darum sind alle übrige Bedingung zum elektrischen Strome auch hier erforderlich, wie bei d gewöhnlichen galvanischen Kette, nämlich Schliefsung dur einen Leiter der zweiten Classe.

Dafs dieser so merkwürdige Ladungsprocefs auch auf die E scheinungen einer gewöhnlichen Volta'schen Säule seinen Ei flufs äufsern müsse, ist einleuchtend, und die Erfahrung b stätigt es vollkommen. So wie durch Schliefsung einer V ta'schen Säule der elektrische Strom eingeleitet wird, wi die beginnende Ladung entgegen, das negative Metall nim einen mehr positiven, das positive einen mehr negativen Ch rakter an und die Wirksamkeit der Säule mufs eben da geschwächt werden. Wird die Säule dann geöffnet, so v schwindet in kurzer Zeit die erfolgte Ladung durch eine Selb entladung nach Innen, die Säule erholt sich gleichsam w der und bei neuer Schliefsung wirkt sie mit der früh Kraft.

Dafs die Interpolation von negativen Metallen (Gold, S ber) zwischen die flüssigen Leiter den elektrischen Strom ner Volta'schen Säule in einem viel höhern Grade schwä als die Interpolation von mehr positiven Metallen (Blei, Zi wovon schon im Artikel *Galvanismus* S. 817 und S. 972 Rede gewesen ist, hängt übrigens mit dem Phänomene der L dung auf das genaueste zusammen.

Ritter's sanguinische Hoffnung, durch die Ladungss len die galvanischen Wirkungen ebenso verstärken zu k nen, wie man die Wirkungen der gewöhnlichen Elektric durch die elektrischen Batterieen verstärkt hat, ist nicht in füllung gegangen. Man kann ihre Spannung nie so weit t ben, als die Spannung der Volta'schen Säule, und die Lad und davon abhängige Thätigkeit ist nur sehr vorübergeh So ist die Ladungssäule nur für die Theorie von Inter geblieben.

Digitized by Google

III Trockene, sogenannte Zamboni'sche Säule.

Mehr als eine Rücksicht mufste die Physiker bei dem gröfsen Interesse, welches die wichtigste Erfindung unsers Jahrhunderts, die der Volta'schen Säule einflöfste, in ihren unverdrossenen Experimental-Untersuchungen über dieselbe zur Auffindung einer im strengen Sinne *trockenen* Säule, aus welcher alle Feuchtigkeit und mit dieser auch der chemische Procefs ausgeschlossen wäre, antreiben. Eine solche Säule, einmal gefunden, schlichtete auf eine peremtorische Weise den theoretischen Streit, der mit der ersten Bekanntwerdung der Säule sich auch entsponnen hatte, den Streit über die eigentliche Quelle und erregende Ursache jenes so mächtigen elektrischen Stromes der Säule, ob nämlich, wie VOLTA zuerst gelehrt hatte, die blofse elektromotorische Kraft der Metalle ohne andere Mitwirkung durch Störung des *natürlichen Gleichgewichts* der *Elektricität* die Ursache der polaren Trennung und Anhäufung der Elektricität und damit bei der Schliefsung der Kette des Stromes selbst sey, auf dessen Schnelligkeit der feuchte Zwischenleiter nur durch seinen verschiedenen Leitungswiderstand einwirke, oder ob nicht vielmehr der feuchte Leiter, sofern er als ein ganz unentbehrliches Glied zur Construction einer wirksamen Säule angesehn wurde, durch den von ihm abhängigen chemischen Procefs und zwar insbesondere durch Oxydation des einen Metalls die Elektricität erst erege, oder ob wenigstens dieser chemische Procefs, wenn auch nicht die einzige, doch eine nothwendig mit vorhanden seyn müssende Ursache des eigentlichen Stromes sey. Dann versprach aber auch der Fund einer wahrhaft trockenen Säule sehr grofse Vortheile vor der gewöhnlichen nassen Säule. Diese zerstört sich selbst und ihre Wirksamkeit durch eben jenen chemischen Procefs, welcher, mag er Ursache oder Wirkung seyn, unzertrennlich von jener Wirksamkeit ist. Um nasse Säulen in gehöriger Energie zu erhalten, müssen sie stets wieder nach einiger Zeit auseinander genommen, die Metalle gereinigt, die Zwischenlagen erneuert werden, was besonders bei mächtigen Säulen ein höchst mühseliges Geschäft ist und am Ende doch zur Zerstörung der Säule führt. Wahrhaft

trockene Säulen, wenn sie gefunden werden konnten, ver-
sprachen eine unvergängliche Thätigkeit, aller jener Müh-
durfte man dann hoffen überhoben zu seyn, und zugleich er
öffnete sich die Aussicht zu einer leichtern Vergrösserung de
Säulen fast ins Ungemessene und zur Darstellung von Resul
taten, die in theoretischer wie in praktischer Hinsicht gleic
wichtig seyn mufsten.

Nach allen diesen Rücksichten kann es daher nicht über
raschen, dafs gleich von Anfang an die Bemühungen einzelne
Physiker auf diesen Gegenstand gerichtet waren, und es mu
vielmehr in Verwunderung setzen, dafs diese ersten Bemü
hungen theils gar nicht beachtet wurden, theils wieder in Ver
gessenheit geriethen, bis nach einem längeren Stillstande de
Forschungen der Physiker in dieser Richtung ein neuer Im
puls gegeben wurde und die Federn der Gelehrten, so wie di
Hände der Künstler, eine vielfache Beschäftigung erhielte
bis gröfsere Entdeckungen auch diesen Gegenstand wieder i
den Hintergrund brachten.

A. Das Historische.

Die ersten Bemühungen in der angezeigten Hinsicht ve
danken wir dem unermüdlichen Ritter. Schon im Febru
1802 errichtete er Säulen, die man als die ersten trocken
betrachten kann, indem er als Zwischenleiter zwischen d
Plattenpaaren aus Zink und Kupfer statt der nassen Pap
Scheiben von *Schafleder*, *Wachstuch*, auch *dünne Glasplatt*
versuchte. Die Zahl der Abwechselungen war 600. Er e
kannte schon ganz richtig die Eigenthümlichkeit der sogenannt
trockenen Säule, zeigte aber auch bereits durch vergleichen
Versuche, dafs sie ihre Wirksamkeit nur hygrometrischer Feuc
tigkeit verdanke, indem bei möglichster Austrocknung ihr
Zwischenleiter alle Wirkung derselben ausblieb[1]. Ungefä
gleichzeitig mit Ritter versuchten die französischen Physik
Hachette und Desormes[2] verschiedene trockene Substanz

1 Diese Versuche wurden von ihm in No. 66. des Reichsanz
gers vom Jahre 1802 bekannt gemacht, wieder abgedruckt in sein
phys. chem. Abhandl. II. S. 270. Vgl. eine Notiz von denselben
Novemberheft des Intelligenzblattes der Allgem. Lit.-Zeit. vom Jah
1803.

2 G. XVIII. 109. fg.

Digitized by Google

als Zwischenleiter in der Volta'schen Säule und fanden Kraftmehl theils für sich, theils mit Salzen vermischt, vorzüglich dazu geeignet. Damals suchte auch ALLIZEAU[1] denselben Zweck (Verhinderung der Oxydation der Metalle und Unwandelbarkeit der Säule in ihrer Wirkung) dadurch zu erreichen, dass er das Metallplattenpaar zusammenlöthete, in einen starken überfirnifsten Metallring fafste und auf die Zinkseite einen Ring von Fayence oder Porzellan kittete, in welchen grobes Kochsalz mit etwas Wasser befeuchtet als Zwischenleiter gebracht wurde. Diese Säule, wenn gleich den mit ihr angestellten Versuchen zufolge ihre Wirksamkeit Wochen hindurch sich so gut wie ungeschwächt erhielt, kann indefs nicht eigentlich unter die Kategorie der trockenen Säulen gebracht werden. Dagegen gehört allerdings hierher die von BIOT[2] bei Gelegenheit seiner Untersuchung über den Antheil der Oxydation an der Elektricitätserregung in der Säule in Anwendung gebrachte Säule aus Scheiben von geschmolzenem Salpeter als Zwischenleiter, die wenigstens von theoretischem Interesse war.

Einen Schritt weiter zur bequemen Construction trockener Säulen that BEHRENS[3], dessen schon im Jahre 1802 und 1803 angestellte Versuche im Jahre 1806 bekannt gemacht wurden. Er fand durch Hitze so viel als möglich ausgetrockneten *Feuerstein* als Zwischenleiter ebenso wirksam, wie feuchte Pappe, was aber noch wichtiger war, er wandte zuerst gewöhnliches unächtes Goldpapier (auf der einen Seite mit einer dünnen Schicht Kupfer belegt) mit Zink zur Errichtung von Säulen an, in welchen das Goldpapier zugleich die Stelle des Kupfers und des feuchten Zwischenleiters vertrat, und bestimmte schon sehr genau alle elektroskopischen Verhältnisse einer solchen Säule. Gleichzeitig mit den Versuchen von BEHRENS wurden die auf denselben Zweck gerichteten von MARECHAUX angestellt[4]. Als Zwischenleiter der Plattenpaare von Zink und Messing wandte er Scheiben von trockener Pappe an, substituirte auch in einer solchen Säule dem Messing das

---

1 Allizeau's galvanische Säule u. s. w. G. XVIII. 109.
2 G. XV. 90. XVIII. 129.
3 G. XXIII. 2. 4.
4 G. XXII. 313. 318.

Digitized by Google

Reifsblei und glaubte besonders an solchen Säulen eine gar eigenthümliche elektrische Ebbe und Fluth beobachtet zu ha ben. Erman [1] prüfte damals diese mit dem ihm eigentliche Scharfsinne und zeigte schon damals durch entscheidende Versuch dafs diese vermeintlich trockenen Säulen ihre Wirksamkeit ei zig einem Rückhalte an hygrometrischer Feuchtigkeit verda ken und die Fluctuationen in ihrer Wirksamkeit wohl n allein von dem Wechsel dieser hygrometrischen Feuchtigk abhängig seyn möchten.

Eine besondere Aufmerksamkeit widmete vom Jahre 18 bis 1810 J. A. de Lüc [2] den trockenen Säulen, in denen a das eine Element unächtes *Goldpapier* diente, auf dess Anwendung er von selbst, ohne von Behrens Arbeiten e was zu wissen, gekommen zu seyn scheint. Durch Vere nigung mehrerer solcher Säulen, nämlich einer horizontalen v 600 Paaren Zink und unächtem Goldpapier von $\frac{1}{3}$ Zoll Durch messer, einer verticalen Säule von 300 Paaren viereckiger Pla ten Zink und Goldpapier von $\frac{1}{4}$ Zoll Seite und einer Säu von 700 Platten Weifsblech und Goldpapier brachte er ein so wirksamen Apparat zu Stande, dafs dadurch eine klein an einem Faden hängende Kugel in fortdauernde schwingend Bewegungen zwischen zwei Kugeln, die mit den entgegeng setzten Polen der Säule verbunden waren, versetzt wurde, welcher Säule er ein neues meteorologisches Instrument z Ausmittelung der Elektricität der Luft und des Erdbodens g wonnen zu haben glaubte. Während de Lüc im April u Mai 1810 mit seinen Beobachtungen an dieser Säule zu Win sor beschäftigt war, hatte Forster zu Waldhamstow unw London aus drei rosenkranzartigen Säulen (die Zink- u Goldscheiben waren ähnlich nach de Lüc's erstem Verfahr auf seidenen Schnüren nach Art eines Rosenkranzes aufgere worden) eine Säule von 2500 Plattenpaaren zu Stande g bracht, wodurch eine kleine Metallkugel in Bewegung g setzt wurde, welche zwischen zwei isolirten, mit den Pol der Säule verbundenen Glocken hing, und dieses kleine Gl ckenspiel kam zum erstenmal am 25. März 1810 zum Töne

---

1 Ueber die Periodicität des Galvanismus. G. XXV. 1.

2 Eine trockene elektrische Säule und ein atmosphärisches Ele troskop. G. XLIX. 100 fg.

Digitized by Google

Diese Versuche wurden indefs in Deutschland nicht gehörig bekannt, denn aus dieser Zeit finde ich in deutschen Journalen nur einen einzigen Aufsatz, der sich auf DE LÜC's Versuche bezog und sie einer Prüfung unterwarf, nämlich von SCHÜBLER[1], und erst mehrere Jahre später, 1814, kam von Italien aus der neue Impuls zur Beschäftigung mit den sogenannten trockenen Säulen. Durch DE LÜC's Arbeiten war nämlich der Abbate ZAMBONI, Professor der Physik am Lyceum zu Verona, veranlafst worden, sich mit trockenen Säulen zu beschäftigen. In Brugnatelli's Giornale di Fisica, Chimica etc., und zwar im Decemberhefte von 1812, erschien seine Dissertazione sulla Pila elettrica a secco, und als Fortsetzung derselben im Januarhefte 1813. p. 31 — 43. Descrizione della Colonna elettrica del Signore de Lüc. Als nach der Zertrümmerung des Königreichs Italien der Vicekönig Prinz EUGEN München zu seinem Aufenthalte nahm, wurde ZAMBONI's trockene Säule von dem Ritter ASSALINI, Dr. Med. und Professor der Chirurgie, der Münchener Akademie den 14. Juni 1814 vorgezeigt[2], von welchem auch damals in einem gedruckten einzelnen Bogen eine Beschreibung und Abbildung der Zamboni'schen Säule im Druck erschien. Nach diesem Muster verbreiteten sich bald die trockenen Säulen in Deutschland, der Schweiz und Frankreich und wurden ein Gegenstand der sorgfältigsten Untersuchungen. Vorzüglich beschäftigte sich damit der früher schon um die Lehre vom Galvanismus hochverdiente Leibmedicus JAEGER in Stuttgart und verfafste eine Reihe von Aufsätzen, die vorzüglich bestimmt waren, die Theorie derselben aufzuklären[3]. Nächst ihm erwarben sich vorzügliche Verdienste um die genauere Erforschung der Erscheinungen der trockenen Säule der Professor BOHNENBERGER in Tübingen[4] und PARROT in Dorpat[5], der vorzüglich die Nothwendigkeit eines chemischen Processes zur

---

1 Schweigger's Journal VII.

2 Vgl. Dr. RUHLAND's Nachricht über die Zamboni'sche Säule in Schweigger's Journ. XI. 16. und einige historische Nachrichten von der trockenen el. Säule von de Lüc und Zamboni in G. XLIX. 35.

3 G. XLIX. 47. LI. 87. LII. LV. 369. LXII. 227.

4 Tübinger Blätter für Naturwissenschaft und Arzneikunde. Bd. II. und im Auszuge in G. LIII. 316.

5 G. LV. 163.

Digitized by Google

Unterhaltung der Thätigkeit einer Zamboni'schen Säule nachzuweisen suchte.

Als meteorologisches Instrument, nämlich als ein neues Luftelektrometer, wozu DE LÜC die trockene Säule vorgeschlagen, wurde sie in ihrer etwas veränderten Gestalt von neuem durch SCHÜBLER[1] geprüft. Auch PLACIDUS HEINRICH stellte in dieser Hinsicht eine Reihe von Beobachtungen mit der Säule an[2]. Der Akademiker YELIN in München machte endlich noch im Jahre 1818 eine Abhandlung über die Zamboni'sche Säule bekannt, in welcher derselben mehr als eine interessante Seite abgewonnen ist. Aufserdem habe ich selbst SCHWEIGGER, MONTANUS LÜDICKE, MÜLLER, BECHSTEIN u. a. Beobachtungen an dieser Säule bekannt gemacht.

B. Construction der Zamboni'schen Säule. Verschiedene Einrichtungen derselben.

Die zuerst von ZAMBONI in Gang gebrachte trockene Säule, wie der Ritter ASSALINI sie der Münchner Akademie vorgezeigt hatte, bestand aus Scheiben ungeleimten *unächten Silberpapiers* (Papier, welches mit einer dünnen Lage von Zinn und Zink überzogen ist), das auf der nicht metallischen Seite mit einem Teig von *Braunstein* (Mangan-Hyperoxyd oder Graubraunsteinerz) und *Honig* belegt ist. In einer inwendig und auswendig mit Siegellack überzogenen Glasröhre, welche auf einem Fufsgestelle von Messing steht, waren 2000 solcher Scheiben zu einer Säule über einander geschichtet, so dafs alle einzelne Scheiben mit ihrer Silberseite nach der einen, mit der Braunsteinfläche nach der entgegengesetzten Seite gerichtet sind. Die Glasröhre ist oben mit einer messingenen Kappe, die mit einem Knopfe versehn wird, verschlossen und mit dieser Messingfassung ist die oberste Platte durch einen Draht verbunden. Aufser diesen neuen Materialien, durch welche sich diese Zamboni'sche Säule von den frühern trockenen Säulen unterschied, machte aber besonders ihre Anwendung zur Bewegung eines Pendels, worin jedoch, wie wir schon oben bemerkt haben, DE LÜC und FORSTER dem ZAMBONI vorangegangen waren, damals grofses Aufsehn. ZAM

---

1 SCHWEIGGER's Journ. XV. 126.
2 Ebendas. XV. 113.

Digitized by Google

son stellte nämlich zwei solche völlig gleiche Säulen 4 bis 5 Zoll weit von einander auf und zwischen ihnen auf einem eigenen Gestelle eine in der Mitte durchbohrte und wie die Inclinationsnadeln um eine horizontale Axe bewegliche Nadel, die ungefähr $\frac{3}{4}$ der Länge der Säule hatte. Sie wird abwechselnd von der einen und der andern Säule angezogen, und diese Bewegung dauert ebenso ununterbrochen fort, als die Wirksamkeit der Säule. Nach der damals von Assalini mitgetheilten Nachricht sollte Zamboni einen solchen Apparat besitzen, durch welchen die Nadel bereits seit zwei Jahren in gleichförmiger Bewegung sich befunden habe, ohne dafs bis dahin sich die geringste Abnahme ihrer Bewegung gezeigt hatte.

In der Abbildung dieses Apparats sieht man die beiden Säulen und die zwischen ihnen befindliche Nadel von vorn, in der folgenden die Nadel mit ihrem Träger von der Seite gezeichnet. Die Füfse der beiden Säulen F F und ihre Knöpfe D D sind von Messing, die Glasröhren P I, P I, welche mit Mastixfirnifs (oder nach einer andern Angabe mit Siegellack) überzogen sind, schliefsen die beiden trockenen Säulen in sich. Zugleich ist eine dieser Säulen abgebildet. Sie besteht aus 2000 Scheiben von unächtem Silberpapier, an ihrer Papierseite mit Honig und Braunstein eingerieben, von 4 bis 5 par. Lin. Durchmesser, und zwei kreuzweise um sie gebundene seidene Fäden vereinigen sie zu einer Säule, welche von aufsen mit Mastixfirnifs (oder Siegellack) überzogen ist. Die unterste Scheibe steht mit dem Messing des Fufses und die oberste mit dem Messing des Knopfes durch die Drähte P, P in Berührung. In A B C sieht man die Nadel abgebildet. Ihr oberer Theil C C besteht aus einer dünnen, mit Mastixfirnifs überzogenen Glasröhre; es sind h h die horizontale Axe und v v die Stützpuncte derselben, der Halbmond x dient als Gegengewicht der obern Hälfte der Nadel und läfst sich herauf- und herunterschieben, M N ist der Arm, der die Nadel trägt, P der Fufs.

Fig. 23. Fig. 24. Fig. 25.

Später brachte Zamboni einige Verbesserungen an seiner trockenen Säule an[1]. Er schreibt in einem Briefe an Pictet

1 In einem Briefe aus Verona den 15. Jan. 1815. in G. LI. 192.

vor, die Papierseite des Silberpapiers mit Baumöl zu bestr
chen, dieses mit einem linnenen Lappen sorgfältig abzuw
schen und dann gepulverten Braunstein darauf zu sieb
Statt dessen könne man auch die Metallseite des Silberpapi
mit einer gesättigten Auflösung des salzsauren Zinks benetz
und, wenn diese dem Anscheine nach von selbst eingetrock
ist, den gepulverten Braunstein darauf sieben. Bei diesem le
ten Verfahren theilte die Säule die ihr eigenthümliche Ele
tricität weit geschwinder mit. Was die Erhaltung der Kr
der Säule betrifft, habe er mancherlei Versuche mit seiner Sä
angestellt, er habe sie in isolirenden Mastix wie vergrab
er habe sie in Glasröhren gesetzt und diese mit gepulvert
Mastix oder Siegellack angefüllt, begnüge sich aber jetzt,
in Glasröhren, die innerlich und äufserlich mit Firnifs üb
zogen sind, einzuschliefsen, ohne zwischen Säule und Röh
noch einen andern isolirenden Körper zu bringen, jedoch
dafs die Wände des Glases die Säule nirgends berühren. Bei
Enden der Glasröhre werden durch Korke und Mastix herm
tisch verschlossen und durch isolirt durchgehende Drä
nach Bedürfnifs die nöthigen leitenden Verbindungen mit d
Polen der Säule vermittelt. Noch später[1] glaubte Za
BONI eine wichtige Verbesserung seiner Säule dadurch erreic
zu haben, dafs er die Rückseite des Silberpapiers mit ei
mäfsig starken Auflösung von schwefelsaurem Zink in Was
näfste, und nachdem durch Trocknen alle andere Feuchtigk
als die dem Papiere von Natur eigene, entfernt worden, üb
das auf dem Papiere sitzende Salz gepulverten und gut g
trockneten Braunstein einrieb und dann schnell die Scheibe
paare bildete.

In dieser Zeit wurden von verschiedenen Instrumente
machern in Paris (DUMOTIEZ[2]), München (RAMIS), Tübi
gen (BUTZENGEIGER[3]) u. s. w. sogenannte Zamboni'sche Sä
len verfertigt und vorzüglich zu Pendelversuchen eingericht
zu diesem Zwecke die isolirten Drähte der Pole mit Meta
glocken versehn, die Säulen selbst, um sie wo möglich u
wandelbar zu machen und gegen äufsere Einflüsse zu schütze

---

1 G. LX. 152.
2 G. XLIX. 189.
3 G. LI. 189.

Digitized by Google

entweder mit Schwefel umgossen, oder mit geschmolzenem Siegellack auf das sorgfältigste überzogen. Eine Hauptabweichung von der Zamboni'schen Einrichtung, die namentlich Ritter und Bohnenberger einführten, war aber, dafs dem negativen Elektromotor aus Braunstein *unächtes Goldpapier* (Papier mit einer dünnen Schicht Kupfer) substituirt und dadurch die Verfertigung solcher Säulen sehr erleichtert wurde. Man leimt die Bogen Silber- und Goldpapier mit ihrer Papierseite auf einander, und indem man ein Dutzend solcher Doppelbogen oder auch noch mehr auf einander legt, kann man mit einem Schlage durch ein dazu eingerichtetes Hohleisen, das unten geschärft und gehärtet ist, auf einmal 12 und mehr solcher Doppelscheiben erhalten, deren Gröfse sich nach dem Hohleisen richtet. Beim unächten Goldpapier mufs man wohl auf die Sorte desselben sehn, indem nach Bohnenberger[1] das Goldpapier, auf welches sogenanntes *gemahlenes* Metall aufgetragen ist, 5- bis 6mal schwächer wirkt, als dasjenige, welches durch aufgelegte Blätter von *geschlagenem Metalle* bereitet ist. Diese Doppelscheiben werden dann in eine Glasröhre über einander geschichtet, so dafs die homologen Metallseiten alle nach einer Seite zugekehrt sind und folglich die entgegengesetzten Metallflächen mit einander in Berührung kommen. Man kann auch viereckige Platten sich auf solche Art ausschneiden. Auch ist es eben nicht nöthig, die Metallbogen an einander zu leimen, sondern man kann sie auch nur über einander schichten, so dafs in gleicher Aufeinanderfolge die Metallflächen mit einander in Berührung kommen.

Die Hauptsache bei allen diesen trockenen Säulen beruht einerseits auf der innigsten Berührung der Papierscheiben unter einander, andererseits auf der möglichst vollkommenen Isolirung der Pole. Beides erreicht man am vollkommensten, indem man an beiden Enden der Säule Messingplatten anbringt, welche an ihren 4 Seiten mit Oesen versehn sind, durch welche überfirnifste, hinlänglich starke, seidene Schnüre gezogen werden, die man so stramm wie möglich anspannt und zusammenbindet. Hat man nicht zur Absicht, jede Einwirkung der Luft so viel als möglich auszuschliefsen, so thut man am besten, solche Säulen, um sie gegen Staub zu schützen, in

---

1 G. LIII. 365.

hohlen hölzernen, aufsen und innen überfirnifsten Säule an seidenen Schnüren, welche sich an der hölzerne Platte, womit die Säule oben verschlossen ist, befinden freischwebend aufzuhängen. Durch diese Platte wird in de Mitte ein hinlänglich grofses Loch gebohrt, durch welche ein mit einem Knopfe versehener Metallstift frei und ohn mit dem Holze in Berührung zu kommen hindurchgeht, de mit dem oberen Pole der Säule in inniger Berührung steht Am untern Pole dagegen kann ein Metallstreifen angebrach werden, der aus einem Seiteneinschnitte im Fufse der hölzer nen Säule frei hervorragt und mit der Schlufsplatte gena verbunden ist. Es versteht sich, dafs die hölzerne Säule in nen weit genug seyn mufs, dafs die Zamboni'sche Säule selb nirgends mit ihr in Berührung kommt, und durch das Ansto fsen an den untern Metallstreifen kann man sich allezeit leich von dem freien Schweben der Säule versichern. Auf die Weise sind die beiden Pole der Säule so vollkommen w möglich isolirt [1], man kann sie bequem mit Elektrometern Condensatoren, Leidner Flaschen, auch die obern oder un tern Pole zweier solcher in entgegengesetzter Ordnung aufge schichteter Säulen nach Belieben mit einander in Verbindun setzen und so in *eine* noch einmal so grofse Säule verwan deln. Zwei solche Säulen, jede von 4000 Plattenpaaren Gold und Silberpapier von anderthalb Zoll Seite, habe ich mir vo züglich zum Behuf meteorologischer Beobachtungen einricht lassen, die ihrem Zwecke vollkommen entsprechen. Will m den Einflufs der Luft so vollkommen wie möglich abhalte so mufs man die Säulen in möglichst enge Glasröhren, d aufsen und innen mit geschmolzenem Siegellack (dem best Isolator) gut überzogen sind, einschliefsen, diese mit Kork verstopfen und durch Glasröhren, die gleichfalls innen gut m geschmolzenem Siegellack überzogen sind, die Metalldrähte den Polen gehen lassen. Seitdem man das Zink sehr dü auszuwalzen gelernt hat, hat man statt des unächten Silbe papiers auch Platten von solchem dünnen Zinkblech ang wandt. Namentlich fand Schulz Montanus [2] solche Säul aus dünnem Zinkblech und Goldpapier viel wirksamer als

---

1 Vergl. Lüdicke in G. L. 92.
2 G. L. 87.

Digitized by Google

nach Zamboni's Art construirten Säulen, und zwei solcher Säulen von 500 viereckigen Plattenpaaren von $1\frac{1}{2}$ Zoll ins Gevierte waren im Stande, eine an einem seidenen Faden zwischen ihren oberen Polen hängende Nähnadel in ununterbrochene Bewegung zu versetzen.

Von durch die Zahl ihrer Platten und die davon abhängige Verstärkung ihrer Wirkungen ausgezeichneten Säulen, die in der ersten Zeit, als die trockenen Säulen ein so allgemeines Interesse einflöfsten, construirt wurden, führe ich hier an:

1) Die Säule, deren sich Yelin zu seinen Versuchen bediente, von dem Mechanicus der Münchner Akademie, Ramis, verfertigt, jede von 5500 Platten unächten Silberpapiers, welches auf der Papierseite mittelst reinen Baumöls mit gutem fein gepulvertem Braunstein eingerieben und an der Sonne möglichst stark getrocknet war, die Platten selbst Kreisscheiben von 8 Par. Lin. Durchmesser, jede Säule 20 Par. Zoll lang, aufsen mit einem Harzüberzuge versehn und aufserdem noch in eine 1 Par. Zoll weite Röhre von weifsem an der innern Wand mit einer Lage Siegellack überzogenem Glase eingeschlossen, sonst wie die oben beschriebene Zamboni'sche Säule eingerichtet[1].

2) Die grofse Säule, welche der Hofmechanicus Eberbach zu Stuttgart[2] auf Befehl des Königs von Würtemberg und unter der Aufsicht des Leibmedicus Jaeger ausgeführt hat, bestehend aus 4 Säulen, die auf Glasfüfsen ruhten und jede über 3000 Scheiben enthielt, welche aus Gold- und Silberpapier zusammengeleimt waren und deren Oberfläche 3| Quadratzoll betrug. Durch leitende Drähte waren diese 4 Säulen zu *einer* Säule verbunden, in deren Mitte indefs eine Ableitung nach dem Boden angebracht war, so dafs sie sich, so lange diese Ableitung angebracht war, als zwei jede in einem ihrer Pole ableitend berührte Säulen verhielten.

3) Die einfache Säule vom Mechanicus Klingert in Berlin[3] aus 8000 Plattenpaaren Gold- und Silberpapier.

4) Endlich der gröfste Apparat dieser Art vom Herrn Kammersecretär Bechstein in Altenburg[4] ausgeführt, bestehend

1 Yelin's Versuche und Beobachtungen u. s. w. S. 18.
2 G. LI. 87.
3 G. LIII. 337.
4 G. LVIII. 342.

aus zwei Säulen, jede von 10000 Scheiben Gold- und Silberpapier von 16 Quadratzollen Oberfläche.

C. Wirkungen der trockenen Säulen.

Die trockenen Säulen mit der grofsen Anzahl von Plattenpaaren zeichnen sich vor den gewöhnlichen nassen durch ihre starken elektroskopischen Wirkungen, durch die lange Dauer ihrer Wirksamkeit in fast ungeschwächtem Zustand und durch den gänzlichen Mangel oder die Geringfügigkeit ihrer chemischen und physiologischen Wirkungen aus.

1) Elektroskopische Wirkungen der trockenen Säulen.

In Rücksicht auf die elektroskopischen Wirkungen kommt die trockene Säule, was die Gesetze derselben betrifft, wie sie bereits[1] entwickelt worden sind, mit der nassen Säule vollkommen überein und nur der Umstand, dafs die Zahl der Plattenpaare der trockenen Säulen die der gewöhnlichen nassen so sehr übertrifft ist die Ursache, dafs die elektroskopischen Wirkungen an jene so viel auffallender zum Vorschein kommen und sich den starken Wirkungen der durch Reiben erregten Elektricität mehr nähern. Die vollkommen isolirten trockenen Säulen zeigen gerade wie die nassen, an ihren beiden Enden entgegengesetzte Pole von gleicher Intensität, die ganz so, wie bei den nassen Säulen, mit der Zahl der Abwechselungen zunimmt und daher bei solchen Säulen aus einigen hundert Plattenpaaren schon sehr merklich auf das Goldblattelektrometer, bei Säulen von einigen 1000 Scheibenpaaren auf das Strohhalmelektrometer sehr merklich einwirkt. Gerade so wie bei den nassen Säulen nimmt die Spannung von beiden Enden der vollkommen isolirten trockenen Säule nach der Mitte zu in einfacher arithmetischer Progression ab, wo sich ein Indifferenzpunct, ein el. 0 befindet. Wird der eine Pol ableitend berührt, so steigt die Spannung an dem andern Pole auf das Doppelte, welches zugleich das Maximum ist, welches die Säule für sich allein erreichen kann. Die Pole liegen auch ganz nach demselben Gesetze, nach welchem sie bei der nassen Säule gelagert sind, der positive Pol an demjenigen End

---

1 S. Art. *Galvanismus*. Bd. IV. S. 827.

Digitized by Google

nach welchem von den zwei sich berührenden hierbei wirksamen Elektromotoren (unächtes Silberpapier und Braunstein, ächtes Silberpapier und unächtes Goldpapier, Zinkblättchen und unächtes Goldpapier) der relativ-positive Elektromotor (die metallische Schicht des Silberpapiers oder das Zinkblättchen), der negative Pol an demjenigen Ende, nach welchem der relativ-negative Elektromotor (Braunstein, metallische Schicht des Goldpapiers) gerichtet ist. Hierin stimmen alle Beobachtungen von Behrens und de Luc an überein. Durch bedeutende Vermehrung der Anzahl der Scheibenpaare kann die elektrische Spannung so sehr verstärkt werden, dafs die Anziehungs- und Abstofsungserscheinungen der Pole schon auf bedeutende Entfernungen merklich werden, indem nicht blofs Goldblättchen, Nähnadeln, sondern auch sehr beweglich aufgehängte Metallkugeln, Pendel aus einer bedeutenden Entfernung angezogen werden und bei Tag sichtbare Funken überschlagen. Ein Goldblättchen, das an einem Drahte hing, der mit dem einen isolirten Pole der einen Säule von 10000 Scheibenpaaren verbunden war, wurde in einer Entfernung einer halben Elle von dem andern Pole angezogen und ein Pendel von 20 Zoll Länge, 7½ Loth schwer, 60mal in einer Minute zum Anschlagen an die Glocken gebracht, welche einen Zoll auf jeder Seite von demselben entfernt waren, wobei jedesmal im Dunkeln ein Funke von der Gröfse eines Stecknadelkopfes bemerkt wurde (Bechstein's Apparat). Die beiden Säulen von Ramis zusammen von 11000 Scheibenpaaren, eben verfertigt und in ihrer Wirkung durch trockenes Wetter begünstigt, gaben selbst im Sonnenschein sichtbare Funken, welche mit hörbarem Laute auf 3 Pariser Linien weit übersprungen und im Finger scharf empfunden wurden[1]. Eine an einem 3 Fufs langen Faden aufgehangene 3 Linien grofse Kugel machte Tag und Nacht hindurch ununterbrochen Schwingungen bei einem volle 12 Zoll betragenden Abstande der Säulenköpfe. In Erbach's Säule schwang das über 12 Zoll lange und beträchtlich schwere Pendel in Bogen von 6 bis 10 Zollen zwischen zwei Glocken hin und her und bezeichnete jede Schwingung durch einen Glockenschlag und durch einen in der Dunkelheit sehr auffallenden Funken. Gerade so

1 Ritter's Abhandl. S. 19.

Digitized by Google

wie durch nasse Säulen können auch durch trockene Säu
Kleistische Flaschen und ganze Batterieen bis zur Spannu
der Säule selbst, sowie auch Condensatoren geladen und
durch die elektrischen Wirkungen selbst noch auffallend v
stärkt werden. Zamboni vermochte durch tausend Scheib
die nach seiner zuletzt angegebenen Methode zugerichtet w
ren, in sehr kurzer Zeit Flaschen von 4 bis 5 Quadratf
Belegung so stark zu laden, dafs man beim Entladen ei
deutlichen Funken sah und den Schlag in den Armen u
in der Brust fühlte[1]. Eine in Paris verfertigte Säule v
2000 Paaren Zink und Braunstein einige Secunden lang
einem Volta'schen Condensator in Verbindung gesetzt lud d
Condensator so stark, dafs er mehr als einen Zoll (?) lan
Funken gab, welche bei wiederholter Verbindung mit d
Condensator stets wieder zu erhalten waren[2].

In Rücksicht auf die Zeit aber, in welcher Zamboni's
Säulen Leidner Flaschen und Condensatoren bis zu ihrer Spa
nung laden und ihre eigene Spannung, wenn die vor
vollkommen geschlossene Säule wieder zu einer vollkomm
offenen wird, sich wiederherstellt, findet ein sehr bemerk
cher Unterschied zwischen den nassen und den trockenen Sä
len statt, der um so gröfser ist, je mehr sich letztere d
Ideale einer trockenen Säule nähern. Schon Ritter b
merkte[1], dafs, wenn bei gewöhnlichen nassen Säulen, sel
wenn sie schon 6 Tage gestanden hatten, eine augenblic
liche Berührung hinreicht, um sie auf das Maximum v
Spannung zu laden, bei seinen trockenen Säulen aus Scheib
von Schafleder während der ersten Zeit derselben gegen
15 und 20 Min. nöthig waren und, wenn die erst heifs angewan
ten Metallplatten sich allmälig abgekühlt hatten, die Säule
Elektrometer geprüft nur noch ihre halbe vorige Spannung
reichte und zur Ladung derselben Batterieen sogar 6 Stund
erforderlich waren. Diesen Punct der langsamen Wiederh
stellung der Spannung, sofern sie durch das Elektrometer g
messen wird, und der langsamen Ladung des Condensat
hat besonders Bohnenberger durch mehrere Versuche in

---

1 G. LI. 181.
2 G. XLIX. 184.
3 Phys. chem. Abh. II. 247.

Digitized

helles Licht gesetzt. Es hängt nämlich die Schnelligkeit der Ladung von Flaschen u. s. w. und der Wiederherstellung der Spannung vorzüglich mit von der Gröfse der Oberfläche der Scheiben ab. Es wurden Säulen aus 2000 Doppelscheiben Gold- und Silberpapier zuerst zwei von 3,2 Linien Durchmesser, dann aber eine aus viereckigen, die 3 Quadratzoll Oberfläche hatten, mit ihrem positiven Pole mit der 39 Quadratzoll grofsen inneren Belegung einer Kleistischen Flasche leitend verbunden, während die äufsere Belegung und der negative Pol beide ableitend berührt wurden. Das Elektrometer erhielt von den beiden erstern Säulen erst nach 170 Minuten die gröfste Spannung von 21° eines Strohhalmelektrometers, von der 3ten Säule schon nach 17 Minuten die höchste Spannung von 20°,5. Bohnenberger zieht aus seinen Versuchen, womit auch die meinigen übereinstimmen, folgende Resultate:

a) Säulen aus einer gegebenen Anzahl gegebener Elektromotoren zeigen einerlei Spannung, wie auch die Zwischenkörper beschaffen seyn mögen, wenn diese nur dünne Schichten bilden und nicht selbst in die Classe der Elektromotoren gehören, sofern diese Spannung durch dasselbe Elektrometer gemessen wird.

b) Bei verschiedener Anzahl von Elektromotoren bei übrigens gleichen Voraussetzungen sind die Spannungen der Anzahl der Elektromotoren proportional.

c) Die Geschwindigkeiten, womit sich Säulen, die blofs in der Gröfse der Oberfläche der Platten von einander verschieden sind, laden und einem gegebenen Condensator oder einer gegebenen Kleistischen Flasche eine gewisse Spannung mittheilen, sind den Flächen dieser Platten proportional und es stehn mithin die dazu erforderlichen Zeiten im umgekehrten Verhältnisse dieser Flächen.

Säulen, welche, wie die nach der ersten Vorschrift Zamboni's erbauten, einen so gut leitenden Zwischenkörper, wie Honig, enthalten, weichen schon weniger in Rücksicht auf die Schnelligkeit ihrer eigenen Wiederherstellung und der Ladung der Condensatoren und Flaschen von den gewöhnlichen davon ab, und so ist es nicht zu verwundern, dafs die Säule von Ramis nach einer Pause von einer halben Minute nach einer vollständigen Berührung wieder ihre volle Spannung hatte, jene starke Funken gab und in 30 Secunden eine grofse

Digitized by Google

Flasche zur vollen Spannung lud. Jemehr die Säulen sich der absoluten Trockenheit nähern, um so weniger sind sie im Stande, Condensatoren von gewöhnlicher Art bis zur vollen Spannung zu laden und diese bei der Aufhebung der Collectorplatte um die volle condensirende Kraft verstärkt zu zeigen, weil die Firnifsschicht, welche die Metallplatten des Condensators von einander trennt, nicht als undurchdringlich auch für Elektricitäten von schwacher Spannung angesehn werden kann und daher bei dem langsamen Zuströmen der Elektricität sich stets wieder ein Theil derselben durch die Firnifsschicht hindurch in den Erdboden verliert, ein Verhältnifs, auf welches wir weiter unten noch einmal zurückkommen werden [1].

2) Chemische und physiologische Wirkungen der trockenen Säulen.

Was nur für den ersten Anschein auffallen mufste, war der Umstand, dafs die trockenen Säulen, welche die gewöhnlichen nassen durch Zeichen freier El. so aufserordentlich übertrafen, keine Spur von chemischer Wirkung zeigten. Diese auffallende Verschiedenheit, welche DE LÜC zuerst an der trockenen Säule wahrnahm, mifsleitete ihn zu einer ganz abenteuerlichen Ansicht über die eigentliche Ursache der chemischen Wirkungen der nassen Säulen. Im Allgemeinen zeigten auch trockene Säulen von einer sehr grofsen Anzahl von Scheibenpaaren keine Spur von chemischen Wirkungen. So gaben die Säulen von RAMIS einzeln so wenig als vereint die allermindeste Spur von chemischer Wirkung, selbst nicht einmal als YELIN Platindrähte von $\frac{1}{20}$ par. Linie Durchmesser nach VAN MARUM's Verfahren in spitzig zugezogene Thermometerröhren einschmolz und nur das Spitzchen hervorstehn liefs. Auch BECHSTEIN wollte es nicht gelingen [2], mit seiner Riesensäule auch nur eine Spur von Wasserzersetzung hervorzubringen. Dagegen zeigen andere Versuche, dafs auch diese trockenen Säulen chemische Wirkungen hervorbringen können, sobald die übrigen Umstände einem wirksamern elek-

---

1 Vgl. hierüber besonders die scharfsinnigen Bemerkungen JAEGER's in G. LII. 81.

2 G. LVIII. 314.

Digitized by Google

tischen Strome günstig sind. Der wichtigste Umstand hierbei ist die Gröfse der Oberfläche der Scheiben. Hierüber sind Lossenbergen's[1] Versuche besonders entscheidend. Nicht die Vermehrung der Zahl der Scheiben, wenn diese nur einen sehr kleinen Durchmesser haben, setzt die trockene Säule in den Stand, chemische Wirkungen hervorzubringen, aber wohl die Vergröfserung der Oberfläche der Scheiben selbst bei einer kleinen Anzahl derselben. Eine Säule, welche aus 96 viereckigen, gut getrockneten Doppelplatten von Silber- und Goldpapier von 36 Quadratzoll Oberfläche bestand, wurde mittelst in Glasröhren eingeschlossener Platindrähte mit einem zur Wasserzersetzung eingerichteten Apparate an ihren beiden Polen in Verbindung gesetzt. Es zeigte sich sogleich Gasentwickelung an den Spitzen der Platindrähte, aber nicht wie bei den nassen Säulen ununterbrochen, sondern so, dafs man die aufsteigenden Bläschen noch zählen konnte, und diese Gasentwickelung fand noch nach 8 Tagen statt, als Bohnenberger diese Säule auseinander nahm, *welche keine Spur von Oxydation zeigte.* Als der Versuch mit einer solchen Säule von 1800 Doppelplatten wiederholt wurde, ging diese Gasentwickelung in einer Stärke vor sich, wie bei einer nassen Säule von 60 bis 100 zweizolligen Platten. Eine solche Säule lud aber auch durch eine schnell vorübergehende Berührung eine Kleistische Flasche von 39 Quadratzoll innerer Belegung bis zu der Spannung, welche ihr eine solche nasse Säule mitzutheilen vermag. Wurden die vier Säulen von Ebersbach[2] zu einer einzigen verbunden, so konnten zwischen ihren Endpolen deutliche chemische Wirkungen hervorgebracht werden. Merkwürdig ist es, dafs die trockenen Säulen, wenn sie auch auf nassem Wege keine chemische Wirkungen hervorbringen, doch dieselben auf trockenem Wege zeigen. Müller[3] bemerkt nämlich in seinem Berichte von der grofsen trockenen Säule Klingert's in Breslau, dafs an den messingenen Kugeln an den Stellen, wo das Pendel anschlug, oxydirte Flecken sowohl an der positiven als auch an der negativen Kugel, die keinen merkbaren Unterschied zeigten, entstanden. Dieses setzt eine grofse Hitze,

1 G. LIII. 352.
2 G. LI. 184.
3 G. LIII. 301.

Digitized by Google

welche an diesen Stellen durch den elektrischen Funken e
zeugt wurde, voraus.

Dafs die trockenen Säulen auch keine merklichen physi
logischen Erscheinungen, die nur durch einen lebhaften elek
trischen Strom bewirkt werden, hervorbringen würden, w
zum voraus zu erwarten. Indefs bringen sie bei grofser A
zahl der Scheibenpaare doch jene physiologischen Wirkung
hervor, welche die gleichsam mehr einseitig oder, w
Schweigger[1] sich ausdrückt, unipolar wirkende Elektrici
erzeugt. So haben wir schon oben bemerkt, dafs der Funk
den Yelin aus dem einen Pole einer am andern Pole mit de
Erdboden in Verbindung stehenden Säule von 5500 Scheib
mit dem Finger zog, in diesem scharf empfunden wurd
Schweigger konnte auch auf diese Art in praeparirten Frosc
schenkeln Zuckungen erregen, und schon Ritter beobachte
dieses Vermögen an seinen mit Schafleder erbauten Säule
Blitze vor den Augen, Erschütterungen in den Armen u. s.
haben auch die gröfsten trockenen Säulen aus Metallpapie
scheiben nicht bewirkt.

3) Dauer der Wirkungen der trockenen Zamboni'schen Säulen.

Die gröfsten Hoffnungen erweckten diese Säulen in d
ersten Zeit ihrer Bekanntwerdung in Hinsicht der Unwande
barkeit ihrer Wirkungen. Der ersten Nachricht zufolge
sollte Zamboni einen wie oben beschriebenen Apparat b
sitzen, durch welchen ein Pendel bereits seit zwei Jahren
gleichförmigen Schwingungen erhalten worden sey, ohne da
sich in dieser Zeit die geringste Veränderung in ihrer Bew
gung gezeigt habe. Bechstein's Säule hatte sich wenigste
innerhalb 4 Wochen, nach deren Verflufs er seine Nachric
mittheilte, nicht im geringsten verändert. Unabhängig v
den Variationen, welche indefs die Wirksamkeit solcher Sä
len durch äufsere Umstände erleidet, ist es leider jetzt au
gemacht, dafs die Hoffnungen, durch dieselben ein *Perpetuu
mobile* in Folge einer unwandelbar sich gleichförmig bleibe
den Elektricitätsentwickelung und was sonst noch gewonn

---

1 Dessen Journ. XVI. 188.
2 G. XLIX. 42.

n haben, in das Reich der schönen Träume gehören. Schon DE LÜC[1] hatte bei seinen trockenen Säulen die unangenehme Erfahrung gemacht, dafs sein Pendel schon nach etwa 8 Tagen, nachdem es zum erstenmal in Gang gekommen war, in Stillstand gerieth. SCHÜBLER's nach DE LÜC's Muster erbaute Säule[2], nachdem sie die Wintermonate hindurch in gleichförmiger Thätigkeit geblieben war, zeigte schon gegen die Frühlingsmonate hin geringere Grade derselben, und in der Zeit, als die Vegetation erwachte und Felder und Bäume mit neuem Grün bedeckt wurden, war sie gänzlich zur Ruhe gekommen. Auch die so vollkommen wie möglich gegen die Einwirkung der Luft durch einen Ueberzug mit einem isolirenden Kitte und Einschliefsung in Glasröhren verwahrten Säulen zeigten ein allmäliges Abnehmen ihrer Thätigkeit. So bemerkt SCHÜBLER[3], vom Professor STRUVE in Lausanne gehört zu haben, dafs seine aus Paris erhaltene Säule seit einigen Wochen stehen geblieben sey, nachdem sie einige Monate lang in Thätigkeit gewesen war, und dasselbe hörte SCHÜBLER auch vom Professor PICTET in Genf, der seine Säule aus Italien erhalten hatte.

Bei meiner eigenen vor 20 *Jahren* von BUTZENGEIGER erhaltenen Doppelsäule von 6000 Scheibenpaaren im Ganzen mufste ich die mit den Enden der Säulen verbundenen Glocken einander immer mehr nähern, um das Pendel in Bewegung zu erhalten, das doch am Ende zur Ruhe kam; doch bringt noch jede derselben nach 20 Jahren unter günstigen äufsern Verhältnissen am Goldblattelektrometer eine ebenso grofse Divergenz hervor, als eine frischgebaute nasse Kupfer-Zinksäule mit Pappen, die mit Kochsalzauflösung getränkt sind, von 500 Plattenpaaren.

4) Einflufs verschiedener äufserer Umstände auf die Wirksamkeit der trockenen Säulen.

Wir betrachten hier zunächst nur den Einflufs der *Feuchtigkeit* und der *äufsern Wärme* auf die Wirksamkeit der tro-

1 G. XLIX. 117.
2 SCHWEIGGER's Journ. VII. 801.
3 Ebendas. XV. 142.

Digitized by Google

ckenen Säulen. Für die Theorie derselben war unstreitig di Beweisführung, dafs die sogenannte trockene Säule keine ab solut trockene sey, dafs ihre Wirksamkeit blofs von dem klei nen Rückhalte an hygrometrischer Feuchtigkeit in den Papier scheiben abhänge, und dafs namentlich die Geschwindigkei ihres elektrischen Stromes vorzüglich durch die Menge diese Feuchtigkeit bestimmt werde, von grofsem Belange. Dafü sprechen eine Menge von Beobachtungen. Schon früh stellt Erman[1] mit Marechaux's trockener Säule in diesem Sinn viele Versuche an und gelangte zu dem Resultate, dafs dies trockene Säule, die nach ihrer damaligen Einrichtung der um gebenden Luft ausgesetzt war, als eine besondere Art vo *Hygrometer* anzusehn sey, das sich durch elektrische Erschei nungen zu erkennen giebt, an Empfindlichkeit alle übrige Hy grometer übertreffe, bei welchem aber an eine Vergleichun nicht zu denken sey. Ihre ganze Wirksamkeit hing seine Versuchen zufolge blofs von der Feuchtigkeit der Pappen a und sank auf 0, sobald alle Feuchtigkeit diesen entzogen wa Er brachte seine Säulen in Glocken, die nachher so luftdich wie möglich verschlossen wurden und in welchen sich ein beträchtliche Menge von geglühtem Chlorcalcium befand, un um dem Einwurfe zu begegnen, dafs etwa der Mangel a Lufterneuerung hierbei mit im Spiele seyn könne, in ein ge räumiges Gewölbe, in welchem sich eine grofse Masse frisc gebrannten Kalkes befand. In kurzer Zeit sank die Spannun der Säule auch mit dem empfindlichsten Elektrometer geprü auf 0 herab. Auch dem blofsen Sonnenlichte von Morgens Uhr bis Abends 6 Uhr ausgesetzt hatte eine solche Säule ihr el. Spannung fast gänzlich verloren. Auch Ritter beobach tete schon, dafs, wie er seine Scheiben von Schafleder eine Tag hindurch auf einem geheizten Ofen hatte liegen lasse die Säule mit ihnen aufgebaut, ungeachtet sie äufserlich kein Verschiedenheit zeigten, durchaus keine Spur von Wirkun gab. Ebenso wie das Schafleder verhielt sich das Wachs tuch. Auch Schübler überzeugte sich, dafs es nur der ver schiedene Grad von Feuchtigkeit sey, von welchem der ver schiedene Grad von Wirksamkeit solcher Säulen abhänge Wurden solche Säulen bei feuchter Witterung errichtet, i

1 G. XXV. 1. fg.

welcher ihre Scheiben eine Zeit lang gelegen hatten, so entwickelten sie anfangs stärkere Elektricität, als andere auf dieselbe Art errichtete, deren Scheiben zuvor stärker ausgetrocknet worden waren; die gröfsere Thätigkeit der ersteren blieb aber nicht lange gleichförmig, sie wurde nach und nach schwächer, welches bei den trockenen weniger der Fall war. Eine Säule von 1200 Scheiben, auf einem Porzellanofen stark ausgetrocknet, indem die Scheiben (nach DE LÜC's erster Methode wie ein Rosenkranz auf einen seidenen Faden aufgezogen) nur locker an einander gereiht waren, zeigte nicht eine Spur von Wirksamkeit; erst nachdem sie einige Zeit in einem schwach geheizten feuchten Zimmer sich befunden hatte, erhielt SCHÜBLER einige Spuren von Elektricität. In sein sehr feuchtes Laboratorium von 8° R. mit gleichfalls nur locker aufgereihten Scheiben gebracht nahm die Elektricität um noch viel stärker zu, nach 20 Stunden von 4° bis auf 16°, in das Wohnzimmer von 10° R. und von viel geringerer Feuchtigkeit zurückgebracht nahm die El. in 24 Stunden wieder bis auf 9° ab; zwei Stunden lang einwirkende Ofenwärme war im Stande, auch diese El. vollends zu zerstören. Durch neues Aussetzen in feuchte Luft wurde die El. wieder aufs neue rege. Doch kamen bei oftmaliger Wiederholung dieser Versuche die Säulen nicht auf ihre ursprüngliche Stärke zurück und die Metalle hatten dann auch etwas von ihrem Glanze verloren.

Als SCHWEIGGER seine Säule, auf deren Silberpapierscheiben das Braunsteinhyperoxyd durch Leimwasser aufgetragen worden war, durch erhitzte Luft in einer Ofenröhre trocknete, war sie abgekühlt ohne alle Wirksamkeit, stark erhitzt zeigte sie wieder starke Wirksamkeit, gab aber einen Dunst von sich, und sie mufste dann stärker erhitzt werden. Als SCHWEIGGER die auf diese Art ausgetrocknete und auf die gewöhnliche Temperatur zurückgebrachte ganz unthätige Säule äufserlich mit einem nassen Pinsel bespritzte, nahm sie ihre ganze vorige Wirksamkeit wieder an [1].

PARROT in Dorpat stellte über den Einfluss der Feuchtigkeit auf die Zamboni'sche Säule besonders genaue Versuche

---

1 Schweigger's Journ. XV. 132.

an[1]. Er bediente sich dazu zweier Apparate, eines, in welchem er die Säule erst auf das Maximum von Feuchtigkeit brachte, und dann eines zweiten, in welchem er die Säule so viel als möglich wieder austrocknete. In den erstern gebracht war die Säule selbst, noch ehe die Luft ihr Maximum von Feuchtigkeit erreicht hatte, auf das Maximum ihrer Spannung gestiegen, nachher aber, da die Luft ihr Maximum von Feuchtigkeit erreicht hatte, wegen der ableitenden Wirkung der feuchteren Luft und da sich nun selbst äufserlich Feuchtigkeit auf die Säule niederschlug, die sich nafs anfühlte, wieder gesunken. Als darauf die Säule in den Austrocknungsapparat gebracht wurde, so erreichte sie in einem Versuche, wo der schlecht gebrannte Kalk langsamer wirkte, ihr Maximum von Spannung erst in 24 Stunden, in einem andern Versuche schon in 3 Stunden, indem die erste Wirkung auf die Entfernung der äufsern Feuchtigkeit, welche die Säule genäfst hatte, und auf bessere Isolirung der Pole hinging, dann aber bei eintretender innerer Austrocknung sank ihre Spannung allmälig, bis sie endlich 0 erreichte. Was auf diese Weise in längerer Zeit zum Vorschein kam, konnte vermittelst der Luftpumpe, indem man schnell Luft entzog und dadurch austrocknete oder mit zugelassener Luft wieder Feuchtigkeit hinzubrachte, in der kürzesten Zeit geschehn.

Die gröfste Mühe wandte indefs Jaeger[2] um, um über den Einfluſs der Feuchtigkeit und über die angebliche Nothwendigkeit eines Rückstandes von hygroskopischer Feuchtigkeit zur Wirksamkeit der Säule Licht zu verbreiten. Er trocknete in einer Ofenröhre durch die durchströmende erhitzte Luft mit aller Sorgfalt die Metallpapiere aus und brachte die daraus errichteten Säulen noch überdiefs in einen Apparat, den er gegen allen Zutritt äufserer Luft so vollkommen wie möglich verwahrte und dessen Luftraum durch eine grofse Menge geglühten salzsauren Kalks auf den höchsten Grad der Trockenheit gebracht worden war. Wurde die so vollkommen ausgetrocknete Säule, dafs sie sich gegen Reibungselektricität als vollkommen isolirend verhielt, auf die gewöhnliche Weise mit Hülfe eines Conductors am Elektrometer geprüft, nach

1 G. LV. 165.
2 G. LXII. 227.

Digitized by Google

den sie auf 20° Lufttemperatur gesunken war, so zeigte sie allerdings keine Spur von freier Spannung, wurden aber die Strohhälmchen an eines ihrer Enden selbst aufgehängt, so dafs also der Verlust von Elektricität, der durch das Glasgehäuse des Elektroskops sonst bedingt ist, vermieden wurde, ein Verlust, der allerdings fortwährend das aufwiegen konnte, was bei der so schlechten Leitung einer solchen Säule nur höchst langsam zugeführt wurde, so zeigten die Strohhälmchen freie Spannung, die indefs nur halb so grofs war, als diejenige, welche die stark erhitzte Säule zu erkennen gab. Ein zweiter Umstand, der auf die Wirksamkeit der Zamboni'schen Säulen von grofsem Einfluſs ist und der allerdings etwas räthselhaft erscheint, ist derjenige der Temperatur. Es scheinen hierbei zwei Wirkungsarten in entgegengesetztem Sinne statt zu finden, eine schwächende, indem die Wärme mit ihrer Zunahme auf gröfsere Austrocknung der Säule hinwirkt, und eine andere die Wirksamkeit der Säule begünstigende, indem ihre Zunahme die elektrische Leitungsfähigkeit der Feuchtigkeit und vielleicht auch des Papiers an und für sich erhöht. Am wichtigsten sind in dieser Hinsicht Jaegers[1] Versuche. Wurde nämlich jener hermetisch verschlossene Apparat, in welchem sich die so vollkommen wie möglich ausgetrocknete Säule befand, die schon bei 20° R. keine Spur von freier Spannung, auf die gewöhnliche Weise geprüft, gezeigt hatte, in die geheizte Ofenröhre gebracht, und stieg das Thermometer, das in jenem Apparate mit angebracht war, auf 35° bis 40°, so setzte der Conductor das Bohnenberger'sche Elektrometer mit der dem oberen Pole der Säule entsprechenden Elektricität in Bewegung; dauerte die Erwärmung steigend länger fort, so machte der Conductor auch die Goldblättchen des Bennet'schen Elektrometers divergiren, und bei 40 bis 45° zeigte er schon an Volta's Strohhalmelektrometer mehr als die halbe Spannung, welche der Säule nach der Zahl ihrer Plattenpaare zukam. Stieg aber die Wärme auf 55 bis 60° am innern Thermometer und hielt sie so lange an, dafs man vermuthen konnte, die ganze innere Säule sey gleichförmig erhitzt, so erreichte die Elektricität nicht nur allmälig die der Gröfse der Säule entsprechende Spannung, sondern übertraf sie noch beständig um

1 A. a. O.

einen beträchtlichen aliquoten Theil, so dafs eine Säule v 1000 Scheiben, welche in ihrem nicht getrockneten Zustan nie mehr als 10° zeigte, bei diesem Hitzegrade vollständig l gab. Entlud Jaeger den Conductor der erhitzten Säule dur vorübergehende Berührung, so stellte sich die Elektricität wi der her, jedoch weit langsamer, als unter ähnlichen Umstä den die El. einer nicht ausgetrockneten und nicht erhitzt Säule. Ebenso kann man mit dem Conductor einer erhitzt Säule einen gewöhnlichen mit Harz gefirnifsten Condensator lad aber nur bei weitem langsamer, als mit einer nicht ausgetrocknet und nicht erhitzten Säule. Bei Erhitzung der Säule bis auf 7 und 80° schien die Geschwindigkeit der Wiederladung d Säulenpols, wenn er ableitend berührt wurde, noch beträch lich zugenommen zu haben, aber die Intensität der Spannu hatte nicht weiter zugenommen. Schweigger's Versuche b stätigen im Allgemeinen die von Jaeger erhaltenen Resulta Bohnenberger fand durch eine Reihe vergleichender Vers che, dafs die Geschwindigkeit der Ladung solcher Säulen, d ren Elektromotoren durch Papier von einander getrennt sir welches blofs mit thierischem Leime bestrichen oder dar getränkt ist, durch das Austrocknen in der Wärme vermind wird, auch so lange sie noch heifs sind, aber durch die A kühlung in feuchter Luft wieder hergestellt wird, währe Säulen mit harzigen Zwischenkörpern sich um so geschwin laden, je mehr sie erwärmt werden, wenigstens so lange d Wärme nicht über die Siedhitze steigt, und dafs sie diese E genschaft erhalten, wenn auch durch erhaltene Erhitzung d Feuchtigkeit soviel als möglich entfernt und durch einen ha zigen Ueberzug der Hinzutritt neuer Feuchtigkeit verhind wird. Dieses gilt namentlich bei Anwendung von Seidenp pier, das mit gekochtem Leinöl getränkt war. Bei einer E wärmung von 60° bis 70° R. lud eine solche Säule von 60 Pl tenpaaren von Zink und gewalztem Kupfer von 7 Linien Durc messer den Condensator augenblicklich, bei einer Abkühlu auf 13° bis 14° fand die gleiche Ladung des Condensators e nach mehrern Minuten statt. Ganz auf gleiche Weise v hielt sich eine Säule, bei welcher die Zwischenlage zwisch dem Zink und den Kupferplatten mit Bernsteinfirnifs best chener englischer Wachstaffent war.

Digitized by Google

5) Vermeintliche Periodicität in den Erscheinungen der trockenen Säule und Abhängigkeit derselben von atmosphärischen Einflüssen.

De Lūc glaubte in der trockenen Säule ein neues höchst schätzbares meteorologisches Instrument, ein Luft-Elektrometer, aufgefunden zu haben. Aufser einer gröfseren Periode, die mit der Periode der Veränderungen in der organischen Natur scheinbar zusammentraf, indem seine Säule, die den Winter hindurch durch das Goldblattelektrometer geprüft eine ziemlich gleichförmige Spannung gezeigt hatte, gegen das Frühjahr merklich abnahm und, als die volle Vegetation im Gange war, alle Thätigkeit verloren hatte, glaubte er noch eine tägliche kleinere Periode beobachtet zu haben, die ganz unabhängig von dem Gange der gewöhnlichen meteorologischen Instrumente, des Barometers, Hygrometers und Thermometers, zu seyn schien. Wenn nämlich das Anschlagen der Goldblättchen (indem die Elektrometer mit den entgegengesetzten Polen der vollkommen isolirten Säule in Verbindung standen) mehrere Tage beinahe gleichförmig fortging, pflegte es vom Morgen an bis zu einer gewissen Stunde Nachmittags zuzunehmen, dann aber bis an den Abend wieder abzunehmen. Aufserdem waren aber auch die Zeichen der Elektricität einige Tage hindurch stark und dann wieder schwach, und, was dabei merkwürdig war, zuweilen fand das Anschlagen einen oder zwei Tage über *nur an dem einen Pole*, wenn aber der Zustand der Atmosphäre sich änderte, *nur an dem andern Pole* statt. Diese ersten Beobachtungen veranlafsten de Lüc, auf einen bequemern Apparat zu sinnen, und brachten ihn auf die Anwendung eines kleinen Pendels, dessen Schwingungen durch ihre Zahl in einer gegebenen Zeit ihm als Mafs der Stärke der Elektricität dienten. Indefs stellte er, nachdem er seine stärkste Säule zu Stande gebracht hatte, nur 16 Tage hindurch vom 10. bis 26. Mai 1810 Beobachtungen damit an, die natürlich zu keinem eigentlichen Resultate führen konnten, und alles, was de Lüc über die Abhängigkeit der Zu- und Abnahme der Thätigkeit der Säule von der Elektricität der Atmosphäre und des Erdkörpers annimmt, blieb blofse Muthmafsung, die erst durch eine Reihe neuer eine hinlängliche

Digitized by Google

Zeit hindurch fortgesetzter Beobachtungen geprüft werd müfste. Diese stellte zunächst Schübler sowohl mit ei de Lüc'schen, als später mit einer Zamboni'schen an. Er l gann seine Beobachtungen im Januar 1812, indem er mit nem Volta'schen Apparate[1] gleichzeitig vergleichende Be achtungen über die Luftelektricität machte. Der negative seiner Säule war mit dem Erdboden, der positive mit ein graduirten Volta'schen Strohhalmelektrometer verbunden. Zunahme der Temperatur im Zimmer nahm die Elektricität Säule zu, ohne im geringsten mit den Veränderungen der mosphärischen Elektricität gleichen Schritt zu halten. Di Beobachtungen wurden im Februar, März und April fort setzt; mit den ersten Tagen des Mai's, und als die Vege tion mit Gewalt hervorbrach, hatte die Säule alle ihre Wi samkeit verloren. Das stärkste Gewitter war ohne allen Ei flufs auf die Säule gewesen. Die Resultate dieser ersten B obachtungen bestätigten sich vollkommen, als Schübler i einer Zamboni'schen Säule von 1600 Plattenpaaren Gold- u Silberpapier von einem Zoll Durchmesser auf einer Re durch die südöstliche Schweiz auf verschiedenen Station ähnliche Beobachtungen anstellte. Unter den mannigfaltigs Abwechselungen der atmosphärischen Elektricität waren Aeufserungen dieser Säule ganz gleichförmig, wenn der ei Pol mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt wurde. zeigte dieselbe Stärke auf dem Eismeere des Montblanc, w einige hundert Schuhe tief unter der Erde bei Bex, bei d heitersten ruhigsten Wetter an den Ufern des Genfersees, w bei dem heftigsten Ungewitter auf den Alpen. Ward die Sä der atmosphärischen Elektricität ausgesetzt, so dafs diese si ihr mittheilen konnte, indem ein Draht von dem einen P aus in die Luft sich erstreckte, so ward die Elektricität Säule nach Art und Grad der atmosphärischen mannigfal modificirt, gerade so wie jede andere künstliche Elektrici die Spannung derselben geändert hatte. Bei einer trocken Säule von 10000 Plattenpaaren, deren Stärke durch die Z der Pendelschwingungen gemessen wurde, zeigte sich die Th tigkeit der Säule mit Zunahme der Trockenheit der Luft verstär mit ihrer Abnahme vermindert. Blofse Erhöhung der Te

1 S. Art. *Luftelektricität*. Bd. VI. S. 465.

Digitized by Google

peratur der Säule selbst von 10° bis 60° R. hatte keinen Einfluss auf ihre Thätigkeit. Auch Placidus Heinrich konnte in seinen vom September bis November 1815 angestellten Beobachtungen über die Zahl der Schwingungen des Pendels zwischen seinen zwei Zamboni'schen Säulen keinen Unterschied wahrnehmen, jedoch zeigte sich im Allgemeinen die Zunahme der Temperatur günstig, die Abnahme ungünstig, was Heinrich vorzüglich von dem veränderten Cohaesionszustande des Honigs in seiner Säule ableitet, der in der Kälte sich mehr dem starren Zustande nähere und dadurch an Leitungsfähigkeit verliere, während er in dem flüssigen durch die erhöhte Temperatur bedingten als ein besserer Leiter wirkte.

Yelin hat mit besonderer Sorgfalt eine Reihe von Beobachtungen über die Ebbe und Fluth in der Thätigkeit der Zamboni'schen Säule und ihre etwaige Abhängigkeit von meteorologischen Veränderungen angestellt. Er bediente sich dazu jener oben beschriebenen von Ramis verfertigten Säule und richtete sich noch überdiefs ein in horizontaler Ebene seine Schwingungen machendes Pendel ein, welches so construirt war, dafs sein Gang als sehr regelmäfsig betrachtet werden konnte. Seine stündlichen Beobachtungen leiteten ihn darauf, eine regelmäfsige Periodicität der Zamboni'schen Säulenaction anzunehmen, jedoch auf eine andere Weise, als sie von Ritter für die Volta'sche Säule angenommen worden war[1].

a) Im Allgemeinen wächst nach Yelin vom ersten Morgen an bis Mittag die Thätigkeit der Säule und erreicht bis gegen 2 oder 3 Uhr Nachmittags ihr Maximum. Von hier an nimmt sie wieder ab, bis sie gegen 9 oder 10 Uhr Abends in der Regel etwas höher stehn bleibt, als sie am Morgen anfing. Diese periodischen Aenderungen will Yelin eben sowohl in der isolirten Säule, wenn gleich minder deutlich als an der nur einseitig freien Säule beobachtet haben. Er glaubt in den Actionen der Zamboni'schen Säule einen Zusammenhang mit den täglichen Ebben und Fluthen der atmosphärischen El., des Barometerganges und der Veränderungen der Magnetnadel wieder gefunden zu haben, doch keine vollkommene Ue-

1 Vergl. Erman in G. XXV. 1. fg.

Digitized by Google

bereinstimmung, indem bei der Säule um 12 Uhr Mittags, Uhr Abends und um Mitternacht Pulsationen bemerkt w den, wo jene Kräfte keine dergleichen anzeigen, und um Uhr Nachmittags und Morgens, wo jene Kräfte ihren Ti punct haben. Aufserdem fand Yelin eine bestimmte Bez hung zwischen der Thätigkeit der Säule und dem hygron trischen Zustande der Atmosphäre. Ihre Thätigkeit nahm nä lich ab einige Tage vor dem Eintreten eines eigentlichen l genwetters, und stieg, wenn im umgekehrten Falle nach li ger andauernder feuchter und Regen-Witterung heitere T eintraten. Diese Anzeigen giebt die Säule mit wenigen A nahmen häufig selbst dann, wenn der Stand des Baromet und Hygrometers noch keine bevorstehende Aenderung erk nen liefsen [1].

So bestimmt nun Yelin sich über die Resultate sei Beobachtungen ausspricht, so sind diese doch nicht lange nug fortgesetzt, um jene Resultate als solche begründet nehmen zu können, und es ist zu bedauern, dafs Yelin s ter nichts zur Bestätigung derselben bekannt gemacht hat.

Ich selbst habe im Laufe dieses durch seine grofse haltende Hitze und Trockenheit, sowie durch seinen hohen l rometerstand sehr ausgezeichneten Sommers (1834) einige Mon hindurch an meinen beiden gröfseren Zamboni'schen Säul die weder mit Kitt überzogen, noch in Glasröhren eingeschl sen sind, sondern, wie schon oben bemerkt, in hohlen h zernen Säulen frei schwebend in seidenen Schnüren häng eine Reihe von Beobachtungen angestellt, dafs die Geschw digkeit, mit welcher die Säule (indem nämlich beide dadurch einer einzigen vereinigt waren, dafs ihre oberen entgegen setzten Pole durch einen Metallstreifen mit einander vereinigt, untere Pol der einen mit dem Erdboden und der untere Pol andern mit dem Knopfe des Elektrometers in Verbindung setzt wurde) dem Elektrometer ihre Ladung mittheilte, so auch die Gröfse der Spannung wesentlich vom hygrome schen Zustande der Luft abhängt und dafs die Säule in d ser Hinsicht ein höchst empfindliches Hygrometer abgi Stets fand ich nämlich mit Zunahme der Trockenheit Luft die Intensität der Spannung sehr auffallend steigend,

1 Versuche und Beobachtungen u. s. w. S. 63.

Digitized by Google

Abnahme derselben fallend. So wie die Zunahme und Abnahme der Wärme und Trockenheit der Luft in den Monaten Julius und August eine gewisse Periode zu halten schienen, ebenso auch die durch das Volta'sche Strohhalmelektrometer angezeigte Spannung. Am 12., 13. und 14. Julius, wo bei ziemlich hohem Barometerstande die Wärme und auch die Trockenheit ihr erstes Maximum erreicht hatten, zeigte auch das Elektrometer eine sehr hohe Spannung. Doch dafs nicht zunächst die Wärme, sondern vielmehr die Trockenheit der Luft diese hohe Spannung bestimmten, bewies der 15. Julius, wo die Wärme keinen so hohen Grad erreichte, aber das Hygrometer gröfsere Trockenheit angab und auch die Divergenz den Strohhälmchen sich gröfser zeigte. Eine noch gröfsere Divergenz zeigten dieselben den 29., 30. und 31. Julius, wo am 30. um Mittag das Thermometer seinen höchsten Stand von + 26° R. in diesem ganzen Sommer erreicht hatte, und am 3. August, wo mit Nordost und doch hohem Thermometerstande von + 22° und mit einer auffallenden Trockenheit eine grofse Divergenz zusammentraf. Von da an aber nahm unter mancherlei Variationen die Spannung ab und im Ganzen zeigte sich immer die gleiche Correspondenz mit dem Feuchtigkeitszustande der Luft. Von einer täglichen Periode konnte ich bei der nicht hinlänglich grofsen Empfindlichkeit des Strohhalmelektrometers nichts bemerken.

Ganz anders verhielten sich meine in Glasröhren eingeschlossenen und gegen die Einwirkung der Luft so viel als möglich verwahrten kleineren Zamboni'schen Säulen. Nachdem sie bereits 20 Jahre ruhig gestanden, stellte ich wieder tägliche Beobachtungen an ihnen an. Wenn sie am günstigsten wirkten, brachten sie die Goldblättchen eines sehr empfindlichen Bennet'schen Elektrometers jede dritte Minute zum Anschlagen. Durch einen starken Messingdraht setzte ich den untern Pol jeder derselben mit dem feuchten Erdboden unmittelbar in Verbindung. Hier fand ich nun, dafs die Pole bei den Säulen, die aus einer gleichen Anzahl von Plattenpaaren bestanden, bald ganz gleiche Spannung zeigten, dafs aber bald der obere negative Pol der einen, bald der obere positive Pol der andern eine gröfsere Spannung offenbarte. Man möchte hieraus auf einen veränderlichen Zustand der Elektricität des Erdbodens einen Schlufs machen können. Meine

Beobachtungen sind indefs noch nicht lange genug fortgesetz um diese Variationen unter ein Gesetz zu bringen.

D. Theorie der sogenannten trockenen Säule.

Berücksichtigen wir nur die bisher vorgetragenen Beol achtungen über die trockene Säule, so scheinen alle Ersche nungen derselben mit der Ansicht, welche wir von der Wi kungsart der Volta'schen Säule vorgetragen haben, in vol kommenem Einklange zu stehn und das von uns erörterte Vo ta'sche Erklärungsprincip die vollkommenste Bestätigung z erhalten. In Rücksicht auf die elektroskopischen Erscheinu gen stimmt die trockene Säule in jeder Hinsicht mit der Vo ta'schen überein und findet in dem Principe derselben ihre zu reichende Erklärung. Auch hier sind es zwei Elektromotore der ersten Classe oder trockene Erreger, von welchen die e gentliche Thätigkeit ausgeht, die metallische Seite des unäch ten Silberpapiers als elektropositiver, die metallische Seite d unächten Goldpapiers als elektronegativer Erreger, an dessr Stelle auch Graphit oder Braunstein substituirt werden kan Die Gesetze, nach welchen die Spannung wächst, müsse auch nothwendig dieselben seyn. Dafs die Wirkung durc das Einreiben von schwefelsaurem Zink verstärkt wird, e klärt sich aus dem Umstande, dafs dieses Salz mit allen M tallen selbst elektronegativ wird und die Spannung, die mit dem Kupfer giebt, sich zu derjenigen dieses letztern m dem Zink noch hinzugesellt. Die zweite Hauptbedingur für die Construction einer wirksamen Volta'schen Säule, da nämlich zwischen den in gleicher Ordnung auf einander fo genden Elektromotoren ein Zwischenkörper sich befinde, d nicht zu einer Spannungsreihe mit ihnen gehöre und doc ein Leiter der Elektricität sey, fehlt auch nicht in den g wöhnlichen sogenannten trockenen Säulen. Dieser Zwischer körper ist nämlich die *Papierschicht*, die vermöge ihrer hy grometrischen Eigenschaft immer noch Feuchtigkeit genug zu rückhält, um in einigem Grade den Dienst eines Leiters z verrichten, aber eben aus dem *sehr geringen Leitungsvermö gen* dieses Zwischenleiters erklären sich alle Eigenthümlich keiten und Verschiedenheiten der Zamboni'schen Säulen vo den gewöhnlichen nassen Volta'schen Säulen. Sie hänge

nämlich einzig und allein von der aufserordentlichen Retardation des elektrischen Stromes theils wegen des geringen Leitungsvermögens der lufttrockenen Papierschichten, theils wegen der grofsen Anzahl der übereinander geschichteten Plattenpaare ab. Alle Erfahrungen über die *chemischen Wirkungen* der Elektricität beweisen, dafs dieselbe nur in dem Verhältnisse, in welchem sie mit einer gewissen Geschwindigkeit strömt oder fortdauernd eine grofse Quantität derselben durch den zu zersetzenden Körper sich hindurch bewegt, ihre zersetzende Kraft ausübt. Nicht die Intensität, sondern die Quantität ist es, die hierbei in Betracht kommt. Elektricität von grofser Spannung wirkt gleichsam mehr als Masse und durchbricht die Flüssigkeit, während die Elektricität von geringer Spannung zwischen die kleinsten Theilchen eindringt. Eine Zamboni'sche Säule, die nach Mafsgabe der Anzahl ihrer Plattenpaare eine hundert-, ja tausendmal stärkere Spannung hat, als eine gewöhnliche Volta'sche Säule mit Zwischenleitern aus der Classe der besten nassen Leiter, liefert in gleicher Zeit doch ohne Vergleich weniger Elektricität, als letztere. Dieses beweist die schon sehr merkliche Zeit, welche eine solche Säule zur Ladung der Condensatoren und el. Batterieen gebraucht, welche von einer solchen Volta'schen Säule in einem Augenblicke geladen werden. Aber eben darum findet keine absolute Grenzlinie zwischen den nassen und trockenen Säulen statt, da letztere bei ihrer gewöhnlichen Construction auf keinen Fall als absolut trockene betrachtet werden können, und wirklich bringen auch, wie wir oben gesehn haben, die Zamboni'schen Säulen schon deutliche chemische und physiologische Wirkungen hervor, laden Condensatoren und Flaschen schneller, sobald man ihr Leitungsvermögen und damit ihren elektrischen Strom verstärkt durch Anwendung von Scheiben von einer gröfseren Oberfläche, durch gröfsere Feuchtigkeit der Papierschichten, durch eine geringere Dicke derselben, wie denn Jaeger[1] fand, dafs eine Säule, welche aus Metallpapier errichtet war, das auf der einen Seite unächt versilbert, auf der anderen unächt vergoldet war, den Condensator viel schneller lud, als eine Säule aus gleich vielen Scheiben von unächtem Silberpapier und abgesonderten Scheiben von unächtem Goldpapier, die mit ihren

1 G. LXII. 233.

Papierseiten an einander geleimt waren, wo die beiden Pa pierschichten einen doppelt so grofsen Widerstand entgegen setzten, als die einfache Papierschicht im ersten Falle, end lich durch festes Zusammenpressen[1], wodurch die Menge de Berührungspuncte, die zur Leitung dienten, vermehrt wurde.

Eben darum aber, weil wir die Zamboni'schen Säulen nu als dem Grade nach verschieden von den gewöhnlichen nas sen betrachten, können diese Säulen nicht dazu benutzt wer den, um den theoretischen Streit, ob ein chemischer Proce oder die bloſse Wirkung der Elektromotoren auf einander di Quelle der Elektricität, welche die Volta'sche Säule entwickel sey, zu schlichten. Aber ebensowenig können wir mit Par rot in den Erscheinungen der trockenen Säule einen Bewe für die Oxydationstheorie finden. Diesen Beweis findet nämlich gerade in der verhältnifsmäfsig so geringen Meng von Elektricität, welche eine Zamboni'sche Säule vergliche mit einer nassen, deren Pappscheiben z. B. mit einer Salmiak auflösung getränkt sind, liefert. Wenn man die Zeit, welch beide gebrauchen, nun eine gegebene Kleistische Flasche b zu einer gewissen Spannung zu laden, als Mafsstab für di Menge der Elektr., welche jede derselben liefert, gebrauch so ergiebt sich, dafs eine solche nasse Volta'sche Säule i gleicher Zeit 1630mal soviel Elektr. entwickelt, bei gleich Anzahl der Paare und gleicher Oberfläche. Diese so ungemei viel geringere Menge von Elektr. der trockenen Säule ste ganz im Verhältnisse mit der viel geringeren Menge Saue stoff, die der Zinkplatte durch die wenige Feuchtigkeit zu geführt wird. Da nämlich das Zink nicht fähig ist, in de gewöhnlichen Temperatur das Wasser zu zersetzen und sic so zu oxydiren, so ist allein der atmosphärische Sauersto dazu erforderlich. Bei der äufserst langsamen Oxydation i der trockenen Säule berechnet Parrot, dafs ein Kubikzo Sauerstoffgas, an eine Zamboni'sche Säule von 140 Plattenpa ren verwandt, auf 2000 bis 3000 Tage hinreichen würde, u am Ende dieser Zeit noch einige am Elektrometer erkennba Elektr. zu liefern. Wenn alle Feuchtigkeit, welche diese Sauerstoff zuleitet, durch vollkommene Austrocknung der Sche ben entzogen sey, so höre eben darum auch alle Wirkun

---

1 Schweigger's Journ. XV. 132.

der Zamboni'schen Säule auf. So lange indefs die Volta'sche Theorie zur Erklärung aller dieser Erscheinungen noch ausreicht, können sie nicht als ein Beweis für die Richtigkeit der Oxydationstheorie angesehn werden.

Dabei ergiebt sich aber noch ein positiver Einwurf, der von dem Mangel einer wirklich statt findenden Oxydation selbst in den gewöhnlichen Zamboni'schen Säulen hergenommen werden könnte. Es ist von mehreren Physikern angemerkt worden, dafs sie, wenn sie ihre Säulen einige Wochen, 2 Monate, nachdem sie aufgebaut waren, aus einander nahmen, die Metallflächen doch noch vollkommen blank vorfanden. So bemerkt namentlich Schübler, dafs, als er seine de Lüc'sche Säule aus einigen hundert Platten Zink und Goldpapierscheiben, die 5 Monate hindurch, vom Januar bis Mai 1813, ihm zu seinen Beobachtungen gedient hatte, auseinander nahm, nur die Scheiben von Goldpapier, die übrigens sonst blank waren, einige Puncte wie von Verkalkung zeigten, dagegen das Zink durchaus nicht angegriffen erschien. Auch Bouterberger konnte an allen den trockenen Säulen, mit denen er seine Versuche anstellte, keine Spur von Oxydation wahrnehmen, und sie ist bei den Säulen, wo er *gefirnifstes*, mit gekochtem Leinöl getränktes Papier oder Wachstaffent anwendete, vollends nicht anzunehmen, weil man bekanntlich polirte Metalle durch einen Ueberzug von Firnifs gegen das Anlaufen sichern kann[1]. Auch ist es kaum begreiflich, wie bei meinen in sehr enge und hermetisch verschlossene Glasröhren, die so gut wie ganz durch sie ausgefüllt sind, eingeschlossenen Säulen nach vollen zwanzig Jahren noch so viel Sauerstoffgas übrig seyn sollte, um durch Oxydation so viele Elektricität zu entwickeln, als sie bis zur Stunde noch zeigen, da die mit ihren Polen in Verbindung gesetzten Goldblättchen eines Bennet'schen Elektrometers 8- und mehrmal in der Minute an die Stanniolableitungen des Glasgefäfses anschlagen. Parrot hat eine seiner Theorie im Wege stehende Schwierigkeit nicht übersehn. „Bei der so geringen Menge von Elektricität, welche die Zamboni'sche Säule aus der Luft zieht, werde man es vielleicht (äufsert er sich[2]) unbegreiflich

1 G. LIII. 362.
2 A. a. O. S. 231.

Digitized by Google

finden, dafs sie am Elektrometer eine so hohe Spannung zeig
da 140 Paare so viel vermögen, als 100 Paare einer Volta'
schen Säule (streng genommen als 140 Paare, wenn die Elek
tromotoren beider Säulen einander gleich sind). Das Unb
greifliche verschwinde aber, wenn man bedenke, dafs di
Zamboni'schen Säulen wegen der Biegsamkeit ihrer Blättche
eine Zusammensetzung weit vollkommenerer Condensatoren se
als die Volta'sche Säule. Daher leisten auch die Volta'sch
Säulen mit sehr grofsen Platten viel weniger elektrometrisch
Wirkung, als die kleineren bei gleicher Anzahl, weil die gr
fseren Platten sich viel weniger eben bearbeiten lassen als d
kleineren und bei dem Gebrauche verbiegen. Weil d
dickeren Platten der gewöhnlichen Volta'schen Säule nicht eb
seyen, so lassen sie dickere und ungleich dickere Luftschich
ten zwischen sich, wirken also als unvollkommenere Conde
satoren, und daher die relativ schwächere elektroskopisch
Wirkung, als man nach der so viel gröfseren Menge von E
welche sie entwickele, erwarten sollte." Parrot meint en
lich, dafs eine mit Salmiakwasser aufgeführte Zamboni'sch
Säule eine ganz ungeheure elektrometrische Wirkung äufse
würde, wenn nicht die Metallfolie ganz zerrissen würde, e
die Säule noch erbaut wäre. Dafs diese Behauptungen n
den bewährtesten Erfahrungen in directem Widerspruch steh
brauchen wir kaum zu erinnern. Alle Versuche stimmen dar
überein, dafs die Gröfse der Platten durchaus keinen Einflu
auf die elektroskopische Wirkung hat, die vielmehr einz
und allein von der Anzahl der Plattenpaare und der Qualit
der Elektromotoren, aus welchen jedes einzelne Plattenpa
zusammengesetzt ist, abhängt. Auch läfst sich aus einer Wi
kungsart nach dem Gesetze des Condensators auf keine Wei
eine Erhöhung der elektroskopischen Wirkung begreifen,
solche eher auf Schwächung derselben hinwirken würde. W
verweisen übrigens in dieser Hinsicht auf unsere Kritik d
Erklärung der Vervielfachung der elektroskopischen Wirku
durch eine condensatorische Wirkung der Metallplatten in u
serm Artikel über den *Galvanismus* S. 977 bis 987.

Die Uebereinstimmung der Erscheinungen der trock
nen Säule mit dem Principe der Volta'schen Theorie beru
wesentlich auf der Voraussetzung, dafs die Zwischenleit
in derselben (die Papierschichten) wenigstens in einige

Digitized by Google

Gute Leiter der Elektricität sind. Diese Erklärungsart und damit die Volta'sche Theorie überhaupt würde aber gänzlich über den Haufen geworfen, wenn man den Beweis führen könnte, dafs es auch vollkommen trockene wirksame el. Säulen gebe, Säulen, deren Zwischenleiter *vollkommene Isolatoren* wären. Diesen Beweis hat Jaeger zu führen und dadurch ein ganz abweichendes Erklärungsprincip der Vervielfachung der Spannung zu begründen gesucht. Gleich bei der ersten Nachricht von der Zamboni'schen Säule stellte Jaeger solche Versuche an, welche ihm diesen Beweis unwiderleglich zu liefern schienen[1]. Er liefs zwölf Zinkscheiben mit einer ihrer Seitenflächen an ebenso vielen Kupferscheiben eben abschleifen, die gleichförmigen Flächen poliren und die zwei zusammengeschliffenen Zink- und Kupferscheiben mit einerlei Zeichen bezeichnen. Darauf überzog er die polirten Flächen der Zink- und Kupferscheibe No. 1. mit einer dünnen Lage Lackfirnifs (einer gesättigten Auflösung von Schellack in Alkohol[2]), klebte beide, ehe der Firnifs noch ganz trocken war, mit den gefirnifsten Flächen auf einander und liefs sie dann auf dem geheizten Ofen völlig trocknen. Ebenso verfuhr er mit den übrigen 11 Plattenpaaren. Somit hatte er also 12 Condensatoren, jeden aus einer Zink- und Kupferscheibe bestehend, welche durch eine beide zusammenklebende Harzschicht getrennt waren. Er prüfte jedes dieser Paare noch besonders auf seine condensatorische Wirkung, indem es nicht so leicht war, zu verhindern, dafs die Platten an ihrer Harzfläche nirgends in metallische Berührung mit einander kamen, und sie dennoch so genau an einander zu bringen, dafs sie als wirkliche Condensatoren wirkten, und überzeugte sich von ihrer vollkommenen Beschaffenheit in dieser Hinsicht. Dann legte er die freie Kupferfläche des Condensators No. 1. auf eine mit dem Boden leitend verbundene Unterlage von Zink, dann auf die freie Zinkseite dieses Condensators No. 1. die freie Kupferseite des Condensators No. 2. und so fort, bis eine Säule von den 12 Condensatoren über einander geschichtet war. Wurde nun das Zink des Paars No. 12. mit dem kupfernen

---

1 G. XLIX. 47.

2 G. L. 214., wo sich diese Berichtigun der frühern Angabe, dafs es Copalfirnifs sey, findet.

Collector eines guten Condensators, der auf seiner ableiten berührten Unterlage ruhte, durch einen isolirten Leiter ver bunden, so zeigte nach wieder getrennter Verbindung der au gehobene Collector jedesmal — E, und zwar von einer 13m so grofsen Spannung, als ein einzelnes ableitend berührt Stück Zink an demselben Condensator hervorbrachte, denn m Einschlufs der Unterlage aus Zink und der Collectorplatte a Kupfer bestand jetzt die Säule aus 13 Plattenpaaren. Vermi derte Jaeger die Anzahl seiner kleinen Condensatoren, zeigte der Collector in eben dem Mafse vermindertes — E, i welchem weniger Zink- und Kupferplatten mit einander i metallischer Berührung standen. Wurde die Säule umgekeh und unter das Zink No. 12. eine kupferne Unterlage gebrac und mit dem Boden leitend verbunden, so theilte die Ku pferscheibe No. 1. einem Condensator von Zink + E von ebe der 13fachen Spannung mit, kurz die Säule zeigte unerschöpf lich alle elektrische Aeufserungen einer mit nassen Leite aufgebauten Volta'schen Zinkkupfersäule, mit dem einzige Unterschiede, dafs die Ladung des Condensators eine beträch lich längere Zeit zu erfordern schien als bei der letzteren Diese Säule wurde dann auseinander genommen, die Platte sorgfältig von ihrer Harzschicht befreit und blofs die Spiegel flächen der Kupferplatten mit einer dünnen Lage Copalfirni überstrichen, über diese eine Schicht von dünnem Taffent gla und straff gezogen und stark getrocknet. Indem auf den Taf fent die zu der Kupferplatte gehörige Zinkscheibe mit ihr Spiegelfläche aufgelegt wurde, erhielt Jaeger wieder ein Säule nach dem vorigen Schema, welche alle Eigenschafte der vorigen Säule zeigte. Ebendieses gelang, als er blofs di Spiegelflächen der Zinkscheiben firnifste, auf jede eine Scheib von unächtem Goldpapiere, mit der Papierseite auf den Firni gelegt, aufklebte und die so erhaltenen Paare so übereinan der schichtete, dafs die Metallseite des Papiers mit der freie Fläche des darauf gelegten zweiten Paars u. s. f. in Berührun kam. Endlich liefs Jaeger von dünnem, grünlichem Fen sterglase Quadrate von etwa 1,5 Zoll Seite schneiden. Di eine Seite jedes dieser Quadrate wurde mittelst dünnen Leim wassers mit unächtem metallischem Schaumgold, die andere m unächtem Schaumsilber überzogen und dann 24 solche Qua drate nach dem obigen Schema (darin statt Harz Glas gesetzt

Digitized by

auf einander geschichtet. Sie zeigten an dem Condensator die 24- oder 25fache Spannung, welche unächtes Gold und Silber in ihrer einfachen Berührung mittelst desselben Condensators bewirken.

An diese Versuche reihen sich die später von Jaeger[1] über die vollkommene Austrocknung gewöhnlicher Zamboni'scher Säulen durch künstliche Wärme und salzsauren Kalk angestellten an, von welchen schon oben die Rede gewesen ist. Wir haben gesehn, dafs eine solche Säule von höherer Temperatur sehr auffallende elektrische Wirkungen zeigt. Um dieses nach dem Volta'schen Principe der Durchleitung zu erklären, müfste man annehmen (äufsert sich Jaeger[2]), ein Minimum von Wasser besitze bei einer Temperatur von weniger als etwa 30° R. dieses Durchleitungsvermögen nicht, erhalte es aber, wenn es bis auf 50° R. und mehr erhitzt werde, und behalte es selbst, wenn seine Masse durch Verdunstung bei diesem Temperaturgrade noch bedeutend abnimmt. Diese Annahme enthalte schon an sich selbst etwas wenigstens bis jetzt Unbegreifliches, und sie werde widerlegt durch den Umstand, dafs die so getrocknete und erhitzte Säule einer der vollkommensten Isolatoren sey. Verbinde man, während ihr einer Pol den Boden berührt, den andern freien Pol leitend mit dem Conductor eines Elektrometers, so könne man letzteres durch geriebenes Glas oder Siegellack auf jeden beliebigen Grad laden, ohne dafs sich diese mitgetheilte Elektr. durch die Säule hindurch in den Boden ergiefse. Ja Jaeger konnte, selbst wenn er die Blechkapsel mit der in ihr eingeschlossenen erhitzten Säule auf eine heifse Glasplatte setzte, den Säulenconductor und die Kapsel mit entgegengesetzter El. laden, ohne dafs sich diese durch die Säule hindurch mit einander vermischten. Hängt man die heifse Säule vermittelst einer trockenen Seidenschnur an dem einen Pole auf und theilt diesem El. mit, so erscheint am andern Pole sehr langsam die homologe Elektricität von derselben Spannung (??); nimmt man die letztere durch Berührung hinweg, so erscheint am zweiten Pole die entgegengesetzte Elektr., welche vorher durch Condensation dort latent gewesen war. Ebenso konnte man

---

1 G. LXII. 229.
2 A. a. O. 236.

eine geladene Leidner Flasche nur theilweise und nie mit einer Explosion durch eine solche heifse getrocknete Säule hindurch entladen. Bei der Anwendung einer solchen Säule von 1000 Scheiben springen aus einer Batterie von 4 Quadratschuh innerer Belegung und der Verbindung des einen Pol der Säule mit der äufsern Belegung, wenn ein mit dem andern Pole verbundener isolirter Leiter dem Conductor der Batterie genähert wurde, blofs einige knisternde Funken über; de gröfste Theil der Ladung war in der Batterie zurückgeblieben die beiden Säulenpole aber fanden sich mit entgegengesetzte El. geladen.

Auf diese Versuche gründet nun Jaeger seine von de Volta'schen abweichende Erklärung, indem er die Vervielfachung der Spannung durch eine condensatorische Wirkung der Metallplatten auf einander durch die sie trennende Schich hindurch vermittelst der El., welche sie selbst durch ihr elektromotorische Kraft entwickelt, begreiflich zu machen sucht. Um die Ladung von Condensatoren, Leidner Flaschen zu erklären, nimmt er eine ganz eigenthümliche Art von Leitung in der Säule an. Er unterscheidet nämlich Leitung oder *Durchströmung in einer Richtung* von einem Plattenpaar zum andern durch den Zwischenleiter hindurch, wie Volta sie annehmen müsse und wie sie bei den eigentlichen Leitern statt finde, von Leitung oder Durchdringung oder *Eindringung* von *entgegengesetzten Richtungen* aus. Die entgegengesetzten Elektricitäten, welche an den durch die Harzschicht getrennten einander gegenüberstehenden Flächen der Metallplatten sich anhäufen und latent machen, zugleich aber auch ein Bestreben haben, sich mit einander zu verbinden sollen allerdings in das Innere der Harzschicht eindringen können, um sich daselbst zu neutralisiren. Dieses sey der Charakter solcher Isolatoren, dafs sie zwar die Elektricität in einer Richtung mit durchlassen, aber wohl von zwei Seiten her für die beiden Elektricitäten so durchdringlich sind, dafs sich beide in ihnen begegnen und in ihrem Inneren mit einander neutralisiren. In dem Verhältnisse, in welchem diese Durchdringung und Neutralisirung geschehe und durch gleichzeitig wirkende elektromotorische und condensirende Kraft die entgegengesetzte El. sich stets unerschöpflich wieder erneuere, ergiefse sich auch von dem Pole aus El. in den Condensator

oder in eine Leidner Flasche und lade sie. Würde eine gewöhnliche Durchleitung im Volta'schen Sinne statt finden, so würde man diese Ladung nicht begreifen können, indem ja in derselben Zeit, in welcher die Elektricität die Harzschicht durchdringt, durch welche die Elektromotoren (in Jaeger's Säulen) von einander getrennt sind, auch die Harzschicht durchdrungen wurde, welche die Condensatorplatten von einander trennt[1]. Diese Ansicht von der Wirkungsart der trockenen Säule sucht Jaeger durch eine sehr sinnreiche Vergleichung mit den el. Erscheinungen des *Turmalins* noch weiter aufzuklären und zu bestätigen[2]. Er dringt in dieser Vergleichung vorzüglich auf den Satz, dafs der eine Pol nur dann El. zeige, wenn dem andern Pole gleichzeitig seine El. entzogen werde. Wenn ein Turmalin auf eine Glasröhre befestigt doch mit dem einen Pole El. zeige, so werde verhältnifsmäfsig ein anderer Theil thätig, *da die Glasröhre nicht vollkommen isolire.* Man könne den Turmalin gleichsam als eine Aneinanderreihung von Blättchen, von denen je zwei als Elektromotoren wirken und das dritte gleichsam die Rolle der Harzschicht spiele, betrachten, von denen eine sehr grofse Anzahl in gleicher Ordnung an einander gelagert sind. Wir verweisen in Rücksicht auf die weitere Ausführung auf die Abhandlung selbst.

Was nun das eigentliche Erklärungsprincip der Verstärkung der Spannung mit der Zahl der Plattenpaare durch eine Wirkung der Zwischenleiter als *Condensatoren* betrifft, ein Princip, welches Jaeger sogar auf die nassen Säulen ausgedehnt hat, so beziehen wir uns auf die bereits[3] gelieferte Prüfung. Den Unterschied einer Fortleitung und Bewegung der Elektricität in einer Richtung und eines Eindringens und Durchdringens von zwei entgegengesetzten Seiten her können wir durchaus nicht zugeben. Für den Anhänger der Frankl'schen Theorie existirt schon zum voraus ein solcher Unterschied gar nicht, in ihrem Sinne ist alle Fortleitung der El. stets nur eine *einseitige*, findet immer nur in *einer* Richtung statt, für den Dualisten dagegen ist jede Leitung eine

---

1 G. XLIX. 54.
2 G. LV. 369.
3 S. Art. *Galvanismus.* Bd. IV. S. 977 bis 987.

Durchdringung von zwei Seiten her, immer macht die eine freithätige oder überwiegende El., von der die Wirkung ausgeht, ihren Gegensatz frei, der ihr von der entgegengesetzten Seite entgegenkommt und mit dem sie sich neutralisirt, und so findet alle Fortleitung auch durch die besten Leiter immer nur auf dieselbe Weise statt, wie Jaeger sie nur für die sogenannten Isolatoren gelten lassen will. Der ganze Unterschied ist ein blofser gradativer oder bezieht sich auf die Schnelligkeit, mit welcher diese abwechselnde Zersetzung und Wiederzusammensetzung des 0 und des + und des — im Raume erfolgen. Insofern es keine absoluten Isolatoren giebt, haben auch alle jene Schichten von Copalfirnifs, Lackfirnifs, Taffent u. s. w. eine relative Leitungsfähigkeit für El. und sind also wohl im Stande, die El. von einem Plattenpaare zum andern über- und durchzuleiten und so die Zunahme der El. mit der Anzahl der Plattenpaare durch blofse Addition zu bewerkstelligen. Nur geschieht diese Leitung in dem Verhältnisse langsamer, in welchem der Zwischenleiter überhaupt ein besserer sogenannter Isolator ist, weswegen der el. Strom allezeit schwächer wird in dem Verhältnisse, in welchem sich die Zwischenleiter mehr der absoluten Austrocknung nähern. Jaeger behauptet ja selbst in seiner Abhandlung über den Turmalin, dafs es aufser der Luft keinen vollkommenen Nichtleiter gäbe. Wollte er aber in jener Säule, welche Watkins[1] zu Stande gebracht haben will, in welcher eine *blofse dünne Luftschicht* den Zwischenleiter bildet, den letzten unwiderleglichen Beweis für seine Erklärung und gegen Volta's Theorie in Anspruch nehmen, so könnten wir ihm auch diese Zuflucht nicht einräumen, da auch die Luft, besonders wenn sie sehr feucht ist, ein wenn gleich sehr unvollkommener Leiter ist und auch mit ihrer Dichtigkeit ihr Widerstand gegen den Ueber- und Durchgang der El. abnimmt. Aufserdem kommt Jaeger mit sich selbst in Widerspruch. An einer Stelle[2] behauptet er, die Elektricität seiner trockenen Säule selbst durch einen solchen Condensator verstärkt dargestellt zu haben, dessen Platten durch dieselbe isolirende Schicht von einander getrennt gewesen seyen, wie die Platten

1 Poggendorff's Ann. XIV. 386.
2 G. XLIX. 54.

Digitized by Google

der kleinen Condensatoren, aus denen seine trockenen Säulen aufgebaut gewesen waren. An einem andern Orte[1] bemerkt er aber dagegen ausdrücklich, dafs man zur Ladung eines Condensators durch irgend eine Säule die Schicht, welche die Condensatorplatten von einander trenne, immer um einen Grad mehr isoliren müsse, als die Schicht, welche die Plattenpaare von einander trenne, und führt als Belege mehrere besondere Fälle an.

Jaeger stützt sich besonders[2] auf folgenden Versuch als einen Beweis für das Vermögen der Holzschichten und anderer solcher isolirenden Zwischenlagen seiner trockenen Säulen, die an ihren Grenzflächen vorhandenen entgegengesetzten Elektricitäten allmälig in ihr Inneres eindringen zu lassen, so dafs sie sich einander begegnen und gegenseitig neutralisiren, die *Durchleitung in einer Richtung dagegen zu vermögen*, so dafs, wenn man eine nicht sehr grofse trockene oder nasse Säule an ihrem einen Pole a mit dem Erdboden und an ihrem andern Pole b mit einem Elektrometer verbinde, dieses das Maximum von Elektricität zeige, das diese Säule geben könne. Lege man nun auf den Pol b einen jener zusammengeklebten Condensatoren mit seiner einen Scheibe, während die andere Scheibe desselben ableitend berührt werde, so fallen die Strohhalme des Elektrometers bedeutend und zwar bleibend zusammen. Dieses könnte nicht geschehn, wenn nicht durch den harzigen Zwischenkörper wirklich anhaltend El. verloren ginge. Der harzige Zwischenkörper könne aber hier nicht etwa blofs als ein schlechter Leiter wirken, welcher die El. *in einer Richtung* durch sich hindurch in den Boden gehn lasse, denn die beiden Scheiben des zusammengeklebten Condensators werden bei diesem Versuche mit *entgegengesetzten Elektricitäten geladen.* Es könne daher die von b kommende El. nur dadurch, dafs sie in den harzigen Zwischenkörper eindringt und sich in ihm mit der vom Boden aus herbeiströmenden entgegengesetzten El. neutralisirt, so geschwächt werden, wie es die bleibende verminderte Divergénz des Elektrometers zu erkennen giebt. Dagegen erinnern wir ganz einfach, dafs die Harzschicht des

---

[1] G. LII. 102.
[2] G. LII. 89.

Digitized by Google

kleinen Condensators, insofern sie nur eine relativ isolirend ist, die Elektricität, deren Spannung einen gewissen Gr übertrifft, allerdings in sehr kurzer Zeit und gleichsam augen blicklich und gleichsam als einen kleinen Funken durch sie hindurchdringen läfst. Dieses gilt also auch hier von der E der Säule, sofern sie einen gewissen Grad von Spannun übertrifft, dagegen wird die El. von schwächerer Spannun und etwa von so schwacher, dafs sie unmittelbar auf d Elektrometer nicht mehr wirkt, durch die Harzschicht zurück gehalten oder wenigstens nur sehr langsam durchgeleitet, un diese wirkt begreiflich nach dem gewöhnlichen Gesetze d Condensators und bindet in der gegenüberstehenden Platte d entgegengesetzte Elektricität, so wie sie gegenseitig von di ser gebunden wird, und eben davon hängt die Ladung d Condensators ab.

Hier verdient noch auf eine Beobachtung DE LÜC's Rück sicht genommen zu werden, welche uns einen Beweis zu li fern scheint, dafs der Vorgang, durch welchen sich die Po einer Säule laden, ein ganz anderer ist, als der Vorgang d Elektricitätserregung durch Vertheilung, zu welchem auch d Elektricitätserregung durch condensatorische Wirkung gehö Letztere kann auch durch eine lange Strecke von Nichtleite (lange Glasstangen) gleichsam momentan geschehn, indem d entgegengesetzten Elektricitäten nur von einander getrennt, ab nicht fortbewegt werden, und ist vergleichbar mit der Fo pflanzung der Bewegung durch eine beliebig lange Rei elastischer Kugeln von gleicher Masse, von denen nur d äufserste in demselben Augenblicke abspringt, in welchem d bewegte an dem andern Ende anstöfst, während alle dazwisch befindliche Kugeln ruhend bleiben. Auffallend war für [1] LÜC (so heifst es in seinem Aufsatze über die trockene Säule die aufserordentliche Langsamkeit, mit welcher die eigentlich elektromotoriche Wirkung in seiner Säule vor sich ging, wäh rend, wenn blofs ihre Leitungsfähigkeit in Anspruch genom men wurde, sie die El. sehr schnell durch sich hindurchlei tete. Der kleinste Grad von Elektricität, den ein isolirter po sitiv oder negativ elektrisirter Körper dem einen Ende d Säule mittheilte, äufserte sich *augenblicklich* am andern End

1 G. XLIX. 107.

war er nur so stark, die Goldblättchen zur Divergenz zu bringen. Wurde dagegen, wenn beide Elektrometer an den Enden der Säule gleich divergirten, das eine mit dem Finger berührt, so dafs die Blättchen daselbst zusammenfielen und die Blättchen des andern stärker divergirten, so verging zuweilen eine geraume Zeit, ehe die Blättchen des ersteren wieder zu ihrer vorigen Divergenz kamen. So langsam pflanzte sich die in dem Apparate ausgebildete el. Flüssigkeit durch die Säule fort. Was DE LÜC im ersten Falle Fortleitung nennt, ist nichts anders, als Wirkung durch Vertheilung, da die Elektricität, die auf das eine Ende eines schlechten Leiters wirkt, die ihr gleichnamige El. thätig und frei macht, gerade so, wie wenn sie ihm mitgetheilt worden wäre.

Dafs jene Schichten von Firnifs, die erst vollends ausgetrocknet wurden, nachdem die Metallplatten schon an einander geklebt waren, doch immer noch einige Feuchtigkeit zurückhalten konnten und darum noch immer mit einigem Momente von Leitungsfähigkeit wirkten, geht aus einem Versuche SCHÜBLER's hervor, welcher eine[1] Säule von 40 Plattenpaaren Zink und Kupfer errichtete, die in der Schmelzhitze durch eine Lage Colophonium mit einander zusammengekittet waren und deren Rand noch mit Harz überzogen wurde. *Diese Säule zeigte auch nicht die allergeringste Spur von Elektricität.* Schon eine leichte Befeuchtung des Randes nach Wegnahme des Harzes war aber schon hinreichend, diese wiederum hervorzurufen.

Indefs scheint noch eine Schwierigkeit der Erklärung nach VOLTA's Principe entgegenzustehn, nämlich die Erhöhung der Thätigkeit der Säule, welche sich sowohl durch einen höhern Grad von Spannung als auch durch die gröfsere Schnelligkeit der Ladung des Condensators offenbart, *in Folge der Erhitzung*, welche den Zwischenleiter, sowohl das Papier als auch in BOHNENBERGER's Versuchen das gekochte Leinöl, *mehr leitend gemacht zu haben schien.* JAEGER[2] schreibt diese Wirkung einem Vermögen der Wärme zu, kraft dessen sie das wechselseitige Eindringen und die Zerstörung der entgegengesetzten Elektricitäten in den Zwischenleitern der Elek-

---

1 Schweigger XVI. 115.
2 G. LXII. 243. fg.

Digitized by Google

tromotoren (den Papieren) befördern und erleichtern mufs vielleicht durch blofses Auflockern der Textur des Papier oder durch verminderte Adhäsion der elektrischen Flüssigkeiten an dasselbe, oder vielleicht gar durch absolute Vermehrung der Expansibilität der Elektricität, welche letztere Annahme vielleicht selbst zum Theil die gröfsere Spannung, welche eine stark erhitzte getrocknete Säule in Vergleich mit einer nicht künstlich getrockneten und nicht erhitzten Säul zeigt, erklärt, wofür auch die Erfahrung spreche, dafs in luftleeren Raume die Intensität der Elektricität des Pols eine Säule gröfser sey, als in der freien Luft, wovon sich woh keine andere Ursache angeben lasse, als vermehrte Expansibilität durch aufgehobenen Druck der Luft.

Da wir, und, wie es uns scheint, aus guten Gründen, jenen von Jaeger aufgestellten Unterschied zwischen Durchleitung der El. in einer Richtung und Eindringen entgegengesetzter Elektricitäten von beiden Seiten in das Innere eines Zwischenleiters nicht zugeben können, so können wir die Erklärungsweise der Beförderung der Leitung der Elektricität in der Säule durch die Wärme auch für uns in Anspruch nehmen. Es ist bekannt genug, wie die besten Isolatoren, z. B. Harz, Siegellack u. s. w., durch blofse Erwärmung, besonders wenn sie bis zum Schmelzen getrieben wird, an Isolirungsvermögen verlieren. Sollte das so viel als möglich vollkommen ausgetrocknete Papier, das in der gewöhnlichen Temperatur allerdings ein guter Isolator ist, durch die Erhitzung nicht vielmehr ein guter Leiter werden und durch diese an Leitungsfähigkeit verhältnifsmäfsig mehr gewinnen, als es durch den Verlust an Feuchtigkeit daran verliert? Sollte nicht auch die vollkommenere Isolirung der Pole der Säule, die doch immer entweder durch die Glasröhren, in die sie eingeschlossen werden, oder durch die Seidenschnüre, durch welche die Säulen zusammengebunden sind, mit einander in Verbindung stehn, an dieser Verstärkung der Thätigkeit der Säulen Theil haben, indem Seide und Glas durch Verjagung der Feuchtigkeit, welche hygrometrisch an ihrer Oberfläche adhärirt, durch die Hitze bessere Isolatoren werden und folglich der Abnahme der Polarelektricitäten in Folge ihrer wechselseitigen Ausgleichung mehr Widerstand leisten? Sollte die elektromotorische Kraft der Metalle selbst nicht durch die Wärme bis auf

Digitized by Google

einen gewissen Grad zunehmen? Ein bis auf — 10° R. abgekühltes Plattenpaar von Zink und Kupfer zeigte, wenigstens durch den Condensator, eine geringere Spannung, als in der mittleren Temperatur. Man sieht indefs, dafs noch neue Versuche erforderlich sind, um die Wirkungsart der Hitze in Erhöhung der Säulenthätigkeit vollständig aufzuklären.

E. Anwendung der trockenen Säule.

1) Der wichtigste Nutzen, den man sich im Anfange von der Zamboni'schen Säule versprach, war der, durch das Pendel, das sie in Bewegung setzte und nach der ersten Versicherung[1] ununterbrochen gleichförmig in Bewegung erhalten sollte, eine gleichförmig gehende Uhr sich verschaffen zu können. Ramis in München war wohl der erste, der eine solche elektrische Pendeluhr einrichtete, und schon hatte ein Münchner Blatt (wöchentlicher Anzeiger für Kunst und Gewerbfleifs) den Vorschlag gemacht, solchen elektrischen Pendeluhren den Namen *Ramisuhren* zu geben, um Baiern das Vorrecht der ersten Erfindung gegen das Ausland zu sichern. Einige Monate nachher zeigte schon der Mechanicus Buzengeiger in Tübingen dem Könige von Würtemberg eine mit dem elektrischen Pendel verbundene Vorrichtung, welche eine mit Secunden-, Minuten- und Stundenzeiger verbundene Uhr bildete. Das kreisrunde, einen Zoll tiefe Uhrgehäuse ruhte völlig isolirt auf einer massiven Glasstütze und an diesem Gehäuse hing das elektrische Pendel frei herab. Das untere mit einer hohlen silbernen Kugel versehene Ende desselben schwang zwischen zwei Metallglocken hin und her, welche von lackirten Glasröhren getragen waren, die auf dem Fufsgestelle standen. Die Säulen lagen in dem Kasten des Fufsgestelles verborgen und die Drähte, welche ihre Pole mit den Glocken verbanden, gingen durch jene Glasröhren. Die Achse des Pendels befand sich in dem Uhrgehäuse, und über und unter ihr trug die Pendelstange einen beweglichen Hebel, deren Enden bei den Schwingungen des Pendels schiebend in die Zähne eines Steigrades eingriffen, welches dann das übrige sehr einfache Räderwerk bewegte.

Ungefähr damit übereinstimmend, doch noch zusammen-

---

1 G. L. 189.

gesetzter, war die elektrische Pendeluhr, welche Klingert Breslau ausführte und wovon eine Beschreibung und Abb dung sich in Gilbert's Annalen[1] findet.

Aber sehr bald überzeugte man sich, dafs der Gang d Zamboni'schen Pendels durchaus nicht gleichförmig ist, d also wenigstens keine Verbesserung der Uhren von demselb zu erwarten sey und solche Einrichtungen also höchstens n den Vortheil gewähren konnten, die etwaigen Schwanku gen, Ebben und Fluthen in der Entwickelung der El. d Säule durch die Zahl der Schwingungen des Pendels in ei gegebenen Zeit genauer abmessen zu können. Leider si zum Verdrusse der Liebhaber nach Monaten oder wenigste nach Jahren alle diese Glockenspiele und Pendeluhren zu Stillstande gekommen[2].

2) Eine zweite sehr nützliche Anwendung der Zambon schen Säule war zur Verfertigung eines sehr empfindlich *Elektrometers*, dessen Angabe wir Bohnenberger in T bingen verdanken und von welchem bereits an seinem Or geredet worden ist.

3) Eine dritte sehr sinnreiche Anwendung der trocken Säule hat Rousseau zur vergleichenden Bestimmung des s geringen Leitungsvermögens verschiedener, zu den Isolato gehöriger Körper gemacht, worüber bereits das Nähere ang geben worden ist[4].

4) Bohnenberger hat auch die trockene Säule als vorzü lich geeignet empfohlen, um dadurch die condensirende Kr

---

1 LIII. 342.

2 Muschr sah im Herbst 1828 bei Zamboni selbst eine sol seit vielen Jahren gehende Uhr. Bei dieser wurde durch mehr verbundene Säulen aus Silberpapier und mit Milch aufgetragen Kohlenpulver von etwa 1,5 Zoll Durchmesser ein Centrifugalpendel steter Bewegung erhalten, welches die Räder der Uhr bewegte, de regelmäfsiger Gang jedoch durch ein zweites gewöhnliches Pendel gulirt wurde, worauf dann der richtige Gang der Uhr beruhte. C valier in Paris verfertigt kleine Carrouselle, die durch zwei Zam ni'sche Säulen mit grofser Schnelligkeit umlaufen; sie sind jedoch ni von langer Dauer.

3 S. *Elektrometer*. Bd. III. S. 371.

4 S. *Elektricität*. Bd. III. S. 192.

Digitized by Google

eines jeden Condensators zu messen, wie auch bereits[1] näher auseinandergesetzt worden ist.

5) Da die Zamboni'sche Säule wenigstens einige Wochen hindurch ihre Spannung unverändert beibehält und dieselbe, wenn ein isolirter Leiter von geringer Oberfläche mit den Polen in Berührung kommt, sie augenblicklich wieder herstellt, so kann sie sehr gut dazu benutzt werden, das Gesetz, nach welchem sich die Stärke der elektrischen Anziehungs- und Zurückstofsungskraft der Elektricität im Verhältnisse der Entfernung verändert, genauer zu messen, und eben zu diesem Zwecke hat Yelin[2] sich derselben bedient.

P.

Säure.

Acidum; Acide; *Acid.* Unter Säure versteht man eine Classe von Verbindungen, welche mehr oder weniger folgende Eigenschaften zeigen: den Salzbasen, besonders den Alkalien, entgegengesetzt, mit grofser Affinität gegen dieselben begabt, bei der Verbindung mit ihnen ihre basischen Charaktere aufhebend und sich aus dieser Verbindung im Kreise der Volta'schen Säule am positiven Pole abscheidend, im Wasser löslich, von saurem Geschmack und oft von ätzender Wirkung auf organische Körper, Lackmus röthend und überhaupt organische Farben den Alkalien entgegengesetzt verändernd. Die Säuren werden in unorganische und organische eingetheilt; erstere zerfallen je nach ihrem Gehalte an Sauerstoff oder Wasserstoff in die Sauerstoff- und Wasserstoffsäuren, oder, je nachdem der mit dem Sauerstoff oder Wasserstoff verbundene Körper, das Säure-Radical, nicht metallisch oder metallisch ist, in Mineral- und Metallsäuren; die organischen Säuren sind theils stickstofffrei (vegetabilische), theils stickstoffhaltige (thierische).

G.

Salze.

Sales; Sels; *Salts.* Unter diesem Namen verstanden

---

1 S. *Condensator.* Bd. II. S. 243.

2 Dessen Versuche und Beobachtungen zur nähern Kenntnifs der Zamboni'schen trocknen Säule. S. 28 fg.

die älteren Chemiker in Wasser lösliche und mit Geschmack begabte Materien. Sie theilten sie in *saure Salze* (die jetzigen Säuren), in *Laugensalze* (die jetzigen Alkalien), in *Neutralsalze* (Verbindungen der Säuren mit Alkalien), in *Mittelsalze* (Verbindungen der Säuren mit Erden) und in *Metallsalze* (Verbindungen der Säuren mit schweren Metalloxyden).

Die neuere Chemie versteht unter Salzen alle Verbindungen der Säuren mit den Salzbasen, sie seyen im Wasser löslich und mit Geschmack begabt oder nicht. Neuerdings hat jedoch dieser Begriff der Salze nachfolgende Erweiterungen erhalten: 1) durch Vermischen der wässerigen Salzsäure mit wässerigem Natron erhält man eine Flüssigkeit, in welcher man die Gegenwart eines Salzes, des salzsauren Natrons, annehmen kann, die jedoch beim Abdampfen Kochsalz liefert, d. h. eine Verbindung von Chlor und Natrium. Da also in festem Kochsalze keine Salzbasis und keine Säure mehr vorhanden ist, sondern blofs Metall und Chlor, so kann dieser Körper, von welchem gerade der Name Salz herrührt, nach der obigen Festsetzung des Begriffs nicht mehr als ein Salz betrachtet werden. Ebenso verhalten sich auch die übrigen Verbindungen der Wasserstoffsäuren mit den Metalloxyden. Um nun doch die Fluor-, Chlor-, Brom-, Iod- und Cyanmetalle als Salze betrachten zu können, nennt Berzelius das Fluor, Chlor, Brom, Iod und Cyan *Salzbilder*, denen das Vermögen zukomme, ein Metall unmittelbar in ein Salz zu verwandeln. Uebrigens wird mit Annahme dieser Ansicht jede Definition von Salz unmöglich. 2) In den Salzen der Metallsäuren sind 2 oxydirte Metalle mit einander vereinigt, es giebt aber ganz analoge Verbindungen, in welchen der mit den beiden Metallen verbundene Sauerstoff durch Chlor, Iod, Schwefel, Cyan u. s. w. vertreten ist. So entspricht dem arseniksauren Kali die Verbindung von Schwefelarsenik mit Schwefelkalium u. s. w. Man kann hierin das Schwefelarsenik als die Säure und das Schwefelkalium als die Basis betrachten und auf diese Weise aufser den Sauerstoffsalzen auch Chlorsalze, Iodsalze, Schwefelsalze u. s. w. unterscheiden. Man sieht, dafs es, um diese ebenfalls von Berzelius herrührende und von Bonsdorff erweiterte Ansicht der obigen Definition entsprechend zu finden, blofs darauf ankommt, den

Digitized by Google

Begriff von Säure und Salzbasis etwas weiter zu nehmen, als es gewöhnlich der Fall ist.

G.

Saturn.

Saturn, oder auch Chronos, ist der Name des vorletzten bekannten Planeten in unserm Sonnensystem. Er ist von blassem, ins Bleigraue fallendem Lichte, nicht heller, als die gewöhnlichen Sterne erster Gröfse. Durch mittelmäfsige Fernröhre betrachtet bietet er die sonderbare Gestalt einer gleichsam mit zwei Henkeln versehenen Kugel dar, und so erschien er auch im J. 1612 dem Galilei und zwanzig Jahre später dem Gassendi. Der fleifsige Hevelke bemerkte das Veränderliche dieser Gestalt, die ungleiche Oeffnung dieser Henkel und ihr zuweilen eintreffendes gänzliches Verschwinden. Erst im J. 1659 gelang es Huygens, das Räthsel zu entwirren und zu zeigen, dafs diese anomalen Erscheinungen von einem grofsen platten Ringe hervorgebracht werden, welcher als ein vom Planeten getrennter Körper denselben umgiebt und je nach seiner Stellung gegen die Erde sich bald in einer beträchtlichen Flächen-Ausdehnung, bald wie eine schmale verschwindende Linie, in seinen mittlern Neigungen aber als eine mehr oder weniger breite Ellipse darstellt. Da der Ring eine höchst geringe Dicke hat, so verschwindet er aufser diesen, durch seine Lage gegen die Erde bedingten Fällen, auch dann zumal, wenn seine Ebene durch das Centrum der Sonne geht, da dann diese nicht seine platten Seiten, sondern nur die schmale Kante beleuchtet. Zwischen dem Ringe und dem Hauptkörper bemerkt man einen dunkeln Zwischenraum, etwa $\frac{1}{3}$ vom Durchmesser des Saturn, durch welchen schon im Anfange des vorigen Jahrhunderts der durch seine Astrotheologie bekannte Derham kleine Sterne erblickte, und mit guten Fernröhren nimmt man auch auf der Fläche des Ringes einen schwarzen Kreis wahr, den schon Dom. Cassini im J. 1684 entdeckt hatte, welcher den Ring in zwei concentrisch erscheinende Ringe theilt. Der Umstand, dafs der Ring einen bestimmten Schlagschatten auf die Saturnskugel wirft, beweist, dafs es ein undurchsichtiger, gleich dem Planeten von der Sonne erleuchteter Körper sey. Saturn hat überdem

sieben Monde zu Begleitern, deren nähere Beschreibung i
Art. *Nebenplaneten* gegeben worden ist.

„Mit diesen Eigenthümlichkeiten und diesem Gefolge bil
det," wie Herschel[1] sich ausdrückt, „Saturn eine der reich
„haltigsten und aufserordentlichsten Erscheinungen am Him
„mel. Eine prächtige Kugel von einem staunenswürdigen dop
„pelten Ringe umfafst, begleitet von sieben Satelliten, gezie
„mit Streifen um den Aequator; zusammengedrückt an de
„Polen, sich umdrehend um ihre Axe; wechselsweise verfin
„sternd ihren Ring und Trabanten und von ihnen verfinster
„der äufserste Ring ebenfalls um seine Axe sich wälzend,
„wie der fernste der Trabanten; alle Theile des Saturnsysten
„nach Umständen einander Licht zuwerfend; die Ringe un
„Monde erhellend die Nächte des Saturnsbewohners; die Ku
„gel und Trabanten beleuchtend die dunkeln Theile des Rin
„ges; Planet und Ringe rückwärts die Monde mit dem reflec
„tirten Lichte der Sonne bestrahlend, wenn sie zur Zeit ihr
„Conjunctionen desselben beraubt sind."

Die Elemente dieses Planeten für den 1. Jan. 1801 sin
folgende[2]:

Mittlere Distanz v. der Sonne in Halbmessern d. Erdbahn	9,538786, oder 197 Millionen geo graph. Meile (197 138 092)
Mittlere siderische Umlaufszeit in mittlern Sonnentagen	10759, 2198 od. 29 J. 166 T. 19 4 M. 13 S
Excentricität in Theilen der halben Axe	0,0561505.
Neigung der Bahn	2° 29′ 35″,7.
Länge des aufsteigenden Knotens	111° 56′ 37″,4.
Länge des Periheliums	89° 9′ 29″,8.

1 In s. Abhandlg. über die Gestalt des Saturns. Phil. Trans. 1805. II. 272.

2 Nach Herschel Sohn aus dessen treatise on Astronomy p. 41 Bessel (Schum. Astr. Nachr. No. 195.) giebt die Masse = 285,940 a Die Dichtigkeit des Saturns ist nur etwa $\frac{1}{8}$ der Dichtigkeit der Erd so dafs die Saturnskugel aus Stoffen bestehn mufs, die nicht schwer sind als Tannenholz.

Digitized by Google

Mittlere Länge des Planeten für obigen Zeitpunct	135° 20′ 6″,5.
Masse in Milliontheilen der Sonnenmasse	284,738.
Aequatoraldurchmesser in Erddurchmessern	9,987 oder 17166 geographische Meilen.

Von der Erde aus gesehn, in der mittlern Entfernung von derselben, erscheint dieser Durchmesser unter einem Winkel von 17,99 Sec.[1]. Die Sonne zeigt sich daselbst unter einem Winkel von etwa $3\frac{1}{4}$ Minuten und die Stärke ihres Lichts beträgt $\frac{1}{91}$ von derjenigen auf der Erde. Dafs man daselbst von den Planeten Mercur und Venus etwas wisse, ist kaum zu vermuthen, da selbst die Erde vom Saturn aus gesehn sich höchstens 6 Grade von der Sonne entfernen kann. Die Oberfläche Saturns ist mit ähnlichen Streifen wie Jupiter umzogen, die mit der Ebene des Ringes parallel gehn; ihre Richtung scheint mithin diejenige des Aequators anzudeuten und sie stimmt auch mit derjenigen des gröfsern Durchmessers überein[2]. Die Gestalt des Saturn zeigt nach Herschel keineswegs eine so regelmäfsige Abplattung wie Jupiter; sie gleicht mehr einem an den Ecken abgerundeten sphärischen Rectangel und zeigt sich wie der Ueberrest einer weit stärkern Abplattung, von welcher ein bedeutender Theil der Aequatorzone sich losgerissen hätte[3]. Man hat diese anomale Gestaltung aus einer Refraction der Saturnsatmosphäre erklären wollen. Allein es hält schwer, sich von der Stärke und Permanenz einer solchen Verzerrung und noch mehr von der Willkür ihrer Richtung einen Begriff zu machen. Herschel setzt die geographische Breite der Puncte, zwischen welchen der scheinbare Durchmesser des Planeten am gröfsten ist, in 43° 20′; warum sollte die Refraction gerade in dieser Richtung am stärksten ausdehnend oder an der Aequatorealzone zusammenzie- Fig. 26.

---

1 Nach Struve (Schum. Astron. Nachr. No. 139.). Herschel hatte ihn 2″,81 gefunden. Schröter machte ihn = 18″,075; Bessel 17″006. Den Polardurchmesser setzte Herschel = 20″61, Bessel = 15″,674.

2 Neuere Beobachtungen von Schwabe scheinen dieses zweifelhaft zu machen. Schum. No. 239.

3 Unsere Figur ist eine gewissenhafte Copie von derjenigen, die Herschel in den Philos. Trans. f. 1805 gegeben hat.

hend wirken? Bequemer noch ist die Aushülfe derjenigen, die, was nicht in ihre angenommenen Vorstellungen paſst, geradezu bezweifeln. Allein bei einem Beobachter wie Herschel läſst sich ein solches Argument nicht anbringen. Er selbst ging bei dieser Wahrnehmung nicht leichtsinnig zu Werke. Eingenommen von der Idee, daſs Saturn gleich dem Jupiter ein Sphäroid sey, hatte er im J. 1789 sich begnügt, den Aequatoreal- und Polardurchmesser zu messen, ohne einen Gedanken an eine andere Eigenthümlichkeit zu haben, und wenn ihm zuweilen die Gestalt dieses Körpers etwas unregelmäſsig vorkam, so wurde das der Unterbrechung des Ringes zugeschrieben, der die Ansicht des vollen Umfangs verhinderte. Erst als Herschel im Frühjahr 1805, einen neuen zehnfuſsigen Reflector durchprobirend, auch den Saturn betrachtete, fiel ihm jene Abweichung bestimmter in die Augen[1]. Vom April bis Juni d. J. verfolgte er nun die gemachte Wahrnehmung mit allen Werkzeugen seines optischen Vorraths, mit Reflectoren von 7, 10, 20 und selbst mit dem von 40 Fuſs bei 300- bis 600maliger Vergröſserung. Ueberall die gleiche Erscheinung! Oefters wiederholte Messungen gaben die Stelle des gröſsten Durchmessers in 46, 45 und 43 Grad der Breite. Bei reiner Luft den Saturn im Meridian betrachtend, sehr oft auch mit dem benachbarten Jupiter ihn vergleichend, sprich er in seinem Tagebuche wiederholt die Ueberzeugung aus: „Saturn ist gewiſs kein Sphäroid wie Jupiter; die gröſste Con„vexität liegt in einer hohen Breite; über jene Gestalt ist kein „Zweifel mehr. Sie bildet ein Viereck oder vielmehr ein „Parallelogramm (Rectangel), dessen Ecken tief abgerundet „sind, doch nicht bis zum Sphäroid; ich seh' es vollkom„men."

Eine Zeichnung, die Herschel nach den Messungen vom J. 1789 gemacht hatte, bedurfte nur einer geringen Reduction an den Stellen des gröſsten Durchmessers, um das im Teleskop gesehene Bild mit aller der Genauigkeit darzustellen, deren das Auge in der Beurtheilung solcher Gegenstände fähig ist. Auf die Ursache dieser merkwürdigen Gestaltung läſst Herschel sich nicht ein, sondern bemerkt nur im Vorbeigehn, daſs die Verflachung an den Polen ein Sphäroid andeute, dessen ei-

1 Philos. Trans. f. 1805. pt. II. p. 272.

ed by Google

gentliche Gestalt durch irgend eine äufsere Ursache, vielleicht die Anziehung des Ringes, gestört worden sey.

Herschel hatte im J. 1793 seine Aufmerksamkeit auf fünf Streifen gerichtet, zwei helle und drei dunkle, die von der Aequatorealzone gegen den Pol sich erheben. Sie ziehn sich rund um die Saturnskugel, doch wechseln sie an Helligkeit und Schärfe, und einige Stellen zeigen eine bestimmte bleibende Verschiedenheit. Diese eigneten sich vorzüglich zur Bestimmung der Umdrehungszeit. Der vorsichtige Beobachter widmete dieser Untersuchung die Nächte vom 11. Nov. 1793 bis 16. Jan. 1794. Es ergab sich daraus eine Axendrehung von 16 St. 16′ 44″. Das Ganze umfafste 154 Umdrehungen. Herschel fand, dafs, wie das am Mars bemerkt wird, die Polarzonen, wenn sie lange den Sonnenstrahlen ausgesetzt gewesen waren, weniger glänzend erschienen, als zur Zeit ihres Frühlings, was auf eine partielle Schneeschmelzung hindeuten möchte. Ueberhaupt war die Helligkeit der Polarzone ungleichförmig, es zeigten sich in derselben dunkle verwaschene Flecken von veränderlicher Natur, die wohl für ein atmosphärisches Erzeugnifs gelten konnten. Ebenso war eine starke Refraction, mithin auch eine Atmosphäre unverkennbar; die Satelliten, wann sie hinter den Planeten traten, schienen lange an der Saturnsscheibe zu kleben, ehe ihr Licht verschwand.

Die merkwürdigste und eigenthümliche Erscheinung bleibt jedoch der bereits erwähnte *flache dünne Ring*. Herschel hatte seinen Durchmesser zu dem der Saturnskugel wie 7:3 gesetzt und genaue mikrometrische Messungen der einzelnen Theile gegeben. Struve in Dorpat hat im Febr. und März 1826 diese Ausmessungen mit dem Filarmikrometer des 10-fufsigen Refractors von Fraunhofer auf neue durchgenommen; sie geben, auf die mittlere Entfernung des Saturn reducirt, folgende Werthe[1]:

---

1 Ich habe hier die Angaben von Herschel's Mikrometer auf Struve's Messung des gröfsten Ringdiameters übergetragen; Herschel selbst giebt diesen 46″,6 statt 40″,22. Bessel in s. gelehrten Abhandlung über d. Bahn des Hugenischen Saturnstrabanten (Schum. Astron. Nachr. Th. X. No. 194.) zeigt, dafs Herschel in Folge einer Eigenthümlichkeit des 40fufsigen Reflectors den Saturn wirklich *gröfser ge-*

Digitized by Google

	Nach Struve.	Nach Herschel
Aeufserer Durchmesser des äufs. Ringes	40″,22	40″,22
Innerer Durchmesser des äufs. Ringes	35,40	37,5
Aeufserer Durchmesser d. innern Ringes	34,58	36,4
Innerer Durchmesser des innern Ringes	26,75	28,6
Aequatorealdurchm. d. Saturn	18,05	17,5
Breite des äufsern Ringes	2,41	1,36
Breite der Spalte	0,41	0,56
Breite des innern Ringes	3,92	3,90
Abstand des Ringes vom Saturn	4,35	
Neigung der Ringebene gegen die Ekliptik	28° 6′	
Lage seiner Knoten	170° u. 350°.	

Auffallend ist hier die genaue Uebereinstimmung beide Beobachter für die Breite des innern Ringes und die merkliche Verschiedenheit für die Breite das äufsern. Herschel's Messungen sind vom October 1791, Struve's vom Febru 1826. Sollte in 35 Jahren eine Veränderung statt gefunde haben? Im März 1828 hatte Professor Schwabe in Dess gefunden, dafs der Saturnsring nicht concentrisch mit der Ku gel sey, sondern dafs Saturn im Ring etwas westlich lieg Harding, Schumacher und Struve fanden das Näml che und der letztere bestimmt durch Messungen mit de Fraunhofer'schen Achromaten den Zwischenraum auf der Os seite zu 11″,073, auf der Westseite zu 11″,288. Auch Be sel fand aus seinen Untersuchungen über den sechsten Sa turnstrabanten, dafs der Mittelpunct der äufsern Begrenzu des Ringes ebenfalls östlich von dem des Planeten lieg Herschel Sohn und South haben zwar durch ihre Messu gen keinen Unterschied erkannt, halten aber denselben de noch für augenscheinlich[1]. Bessel[2] findet eine Excentrici

---

sehn habe, was vielleicht der grofsen Lichtstärke jenes Instrument zugeschrieben werden kann.

1 Astron. N. IX. No. 183. p. 14.

2 Eine förmliche Bestätigung erhält diese Wahrnehmung dur

des Ringes mit unsern gegenwärtigen Ansichten nicht vereinbar; man müfste, glaubt er, dabei voraussetzen, entweder dafs der Ring sich nicht um seine Axe drehe, oder dafs er aus zahlligen sich frei bewegenden Theilen bestehe, deren Bahnen eine gemeinschaftliche Apsidenlinie haben.

Der jüngere Herschel[1] hingegen hält diese Excentricität gerade für eine Erhaltungsbedingung des Ringsystems. Wären die Ringe genau kreisförmig und mit dem Planeten concentrisch, so würden sie, trotz aller Centrifugalkraft, ein *unstabiles Gleichgewicht* bilden, das durch die geringste äufsere Ursache gestört werden könnte; der Ring würde dadurch nicht etwa an irgend einer Stelle gebrochen, sondern in Masse auf den Planeten niedergerissen werden. Die geringste Verrückung des Hauptkörpers aus dem Centrum des Ringes würde ihn einer Seite desselben näher bringen und diese Annäherung würde zunehmend seyn. Dafs Kräfte dieser Art von einer combinirten Wirkung der Trabanten ausgehn könnten, wäre nicht schwer zu beweisen. Um also dem Systeme des Ringes die nöthige Stabilität zu verschaffen und jede anfängliche Störung unwirksam zu machen, genügt es, ihm selbst eine oscillatorische Bewegung zu ertheilen, die von irgend einer ungleichen Vertheilung der Masse im Ringe ausgehn mag; diese periodische Bewegung wirkt dann ähnlich, wie die Kreisbewegung, die ein Mann, der eine lange Stange in verticaler Richtung balancirt, mit seinem Finger beschreibt. Auf diesem beständigen Kampfe von erhaltenden und zerstörenden Kräften, der jede Anhäufung einer einseitigen Wirkung abwehrt, beruht die Sicherheit dieses Gebäudes, und eben seine Unveränderlichkeit liefert auch den Beweis, dafs der Ring unter

---

ein Citat aus den Actis Eruditorum pro anno 1684. p. 424. (und in dem Auszug von Venedig von 1740. Tom. I. pag. 259.), welches Vieth in den Astron. Nachrichten No. 260. beibringt. In dem Systema phaenomenorum Saturni autore Galletio, proposito ecl. Avenionensis, findet sich folgende Stelle: „Nonnumquam corpus Saturni *non exacte* annli *medium obtinere* visum fuit:" id quod semper accidit, quoties planeta quadrato aspectui cum Sole proximus est, quoniam tum parallaxis orbis sensu percipi potest. Hinc evenit, ut, quum planeta orientalis est, centrum ejus extremitati orientali annuli propius videatur, et *major* pars ab occidentali latere fit cum ampliori obscuritate."

1 Treat. on Astronomy. p. 286.

Digitized by Google

dem ganzen Einflusse der ihn umgebenden Kräfte, also, nach dem Saturn mit seinem ganzen Gefolge von Satelliten berei in seiner Bahn um die Sonne sich bewegte, gebildet wor den sey.

Auch Laplace[1] hatte schon früher sich dahin ausge sprochen, dafs die Saturnsringe durch die blofse Cohärenz ih rer Molecülen sich nicht halten könnten, die dem Planete nähern Theile würden durch den unaufhörlichen Zug de Schwere sich losgemacht und so die allmälige Zerstörung de Ringes herbeigeführt haben.

Es bedarf also nothwendig des Umschwungs um eine Axe die durch das Centrum des Planeten geht. Ueberdem mul der Ring eine ungleiche Breite oder Dicke haben, eine Ei genschaft, die auch wirklich durch die Beobachtungen indi cirt wird. Wäre er in allen seinen Theilen vollkomme gleich, so wäre die kleinste Kraft, z. B. die Anziehung ei nes Trabanten, hinreichend, sein Gleichgewicht zu störer und der Ring würde am Ende auf den Planeten hinunter stürzen.

Früher glaubte man nach einer von Short mit einer 12fufsigen Reflector gemachten Beobachtung, dafs der Ring i mehrere concentrische Kreise getheilt sey. Herschel's ge naue Beobachtungen haben jedoch diese Meinung als ungülti erwiesen; der Ring besteht nur aus zwei Theilen; die frü hern Beobachter wollten beide Theile in *gleicher Gröfse* ge sehn haben, da jedoch ihre Angaben auf keine Messunge sich gründen, so können sie nicht mit den spätern in Verglei chung gesetzt werden, um so mehr, da Herschel den Un terschied der Breite der Ringe geringer macht, als die neuer Beobachtungen.

Das Auffallendste ist die *höchstgeringe Dicke* des Rin ges. Im J. 1789, als die Erde sich in der Ebene des Saturns ringes befand, erschien dieser als ein feiner Faden, an wel chen die Trabanten wie Perlen angereiht waren. Die fein Lichtlinie schien kaum den vierten Theil des scheinbare Durchmessers eines Trabanten, den Herschel auf 1 Secund schätzte, einzunehmen. Diefs gäbe doch noch eine Dicke vo 239 geographischen Meilen. Schröter mafs im Junius 180

1 Exposition du système du monde. 3me Éd. 4. p. 254.

den Schatten dieser Linie auf dem Planeten und leitete daraus die scheinbare Dicke des Ringes auf 0″,126 = 120 geograph. Meilen ab. Sir John Herschel will ihn nicht über 10 engl. Meilen d. h. etwa 22 geographische annehmen und Bessel bestimmt ihn aus der Masse der Ringe, die er $= \frac{1}{171}$ setzt, zu 29,7 geograph. Meilen, vorausgesetzt, dafs Ring und Saturn von einerlei Dichtigkeit und die Masse gleichförmig vertheilt sey.

Der Ring selbst zeigt ein helleres, weifseres Licht, als der Saturnskörper. Herschel überzeugte sich hiervon, indem er beide Gegenstände mit immer stärkern Vergröfserungen betrachtete. Bei einer 500maligen Vergröfserung des siebenfufsigen Teleskops nahm die Kugel eine gelbliche Farbe an, während der Ring weifs blieb. Den äufsern Ring fand Herschel minder hell, als der innere zunächst an der Theilungslinie war. Dieser war von der Mitte seiner Breite an lichtschwächer und erschien an der innern Kante beinahe von derselben Farbe, wie der dunkle Theil des fünffachen Streifens. Den Beobachtungen zufolge, welche im December 1832 von Schwabe und im April 1833 von Valtz gemacht worden sind[1], scheint der Ring nicht überall die gleiche Dicke zu besitzen, indem er nach dem Verschwinden auf der einen Seite des Planeten weit früher sichtbar war als auf der andern.

Man hatte auf dem Ringe, während er dem Verschwinden nahe war, einzelne Lichtpuncte bemerkt, die man für Erhöhungen am Körper des Ringes selbst halten konnte. Schon Messier[2] hatte solche Puncte, die am Lichtfaden des Ringes wie Perlen angereiht waren, gesehn; ebenso neuerdings Bianchi und Santini in Padua. Messier und Büffon erklärten sie geradezu für Bergspitzen. Herschel, dem die Annahme von Bergen, die auf 200 Millionen Meilen noch sichtbar wären, nicht einleuchten wollte, bemühte sich zu zeigen, dafs diese Puncte wohl nur Trabanten seyn könnten, deren Bahn-Ebene mit derjenigen des Ringes zusammen fiele. Wirklich konnten mehrere solcher Beobachtungen durch diese Annahme erklärt werden. Es blieben jedoch noch mehrere vor-

---

1 Schum. Astr. Nachr. No. 230. und Bibl. Univ. Avril. 1834.

2 Mém. de Berlin. 1776.

züglich helle Puncte übrig, deren Bewegung, wenn sie al gesondert von den übrigen in Rechnung gezogen wurde, e nem Körper anzugehören schien, welcher in 10 Stunden 3 M. 15 Sec. um den Saturn lief. Aus der Umlaufszeit lie sich nur sein Abstand vom Planeten nach bekannten Regeln b rechnen, und da ergab sich, dafs dieser Körper in den Ri selbst fiel, mithin einen Theil desselben ausmache, oder d jene Umlaufszeit wirklich diejenige des Ringes selbst sey.

Gegen diese mit grofser Vorsicht, Bescheidenheit u Wahrheitsliebe durchgeführte und durch 300 Rotationen best tigte Ermittelung einer Umlaufszeit des Ringes erhob si Schröter im J. 1803, und glaubte aus Beobachtungen, d er bei dem damaligen Verschwinden desselben angestellt hat die Behauptung aufstellen zu können, dafs der Ring gar kei Axendrehung habe, sondern in beständiger Ruhe sey. So u wahrscheinlich es war, dafs ein so schmales und hohes G wölbe ohne alle Schwungkraft sich sollte halten können, beharrlich widersetzte sich Schröter allen Erklärungen, d dem Resultate seiner Beobachtungen, das er für mathematis sicher erklärte, eine andere Wendung zu geben drohten. der Connaiss. des tems. v. J. 1811 suchte Laplace den Str zu lösen, fand aber in der Voraussetzung, dafs der Ring a vielen abgesonderten concentrischen Ringen bestehe, die nä liche Umlaufszeit wie Herschel. Seither ist die ganze A gelegenheit liegen geblieben und der Ueberzeugung jedes Ei zelnen überlassen worden. Die zunehmende Verbesserung d Fernröhre und der Fleifs der heutigen Beobachter wird wo auch diesen Punct — vermuthlich im Sinne Herschel's — z Entscheidung bringen[1]. Merkwürdig ist die Wahrnehmung v Valtz vom 23. April 1833, dafs nämlich die Ringebene d Saturnsscheibe keineswegs halbirt, sondern dafs die nördlic Halbkugel merklich gröfser erscheint, als die südliche. D Schwerpunct des Saturnskörpers würde demnach nicht mit d Mittelpuncte seiner Figur zusammenfallen und die beid Halbkugeln wären von sehr ungleicher Dichtigkeit. Au

1 Eine umständliche treffliche Beleuchtung dieses Streites, welcher mit aller Schonung der Gegner die Vorzüge der Hersche schen Bestimmung in ihr volles Licht gesetzt werden, findet sich Brandes Briefen über die vornehmsten Lehren der Astronomie. T III. S. 333. u. folgg.

Digitized by Google

Schwabe hatte im J. 1832 bemerkt, dafs der Ring dem Aequator des Planeten nicht genau parallel war, sondern auf der Ostseite ein wenig nach Norden, auf der Westseite nach Süden sich neigte.

Die Erscheinungen, die dieser erleuchtete Bogen von 1007 geograph. Meilen Höhe auf dem Saturn darbieten mufs, sind allerdings merkwürdig; doch erstrecken sie sich nur auf die heifse und die gemäfsigte Zone; den Polargegenden bleibt er unter dem Horizonte und wird erst etwa in der Breite von 60° an seinem obern Theile sichtbar. Unter dem 45. Grade tritt auch seine untere Kante um ein Paar Grade über den Horizont hervor, und seine Fläche nimmt daselbst am Himmel einen Bogenstreif ein, der etwa 18 Grade breit ist. Im Solstitium liegt die von der Sonne abgewendete Hemisphäre von 16° der Breite an bis zu 62° im Schatten des Ringes; nach einigen Monaten, wenn die Abweichung der Sonne um etwa einen halben Grad sich vermindert hat, tritt die Sonne über die obere Kante des Ringes, der dort fast ganz unter dem Horizont ist, hervor und von der Polarzone her breitet sich täglich das Sonnenlicht mehr in der gemäfsigten Zone aus. Der Ringschatten wird schmäler und rückt immer mehr dem Aequator zu, bis er nach 14¾ Jahren auf demselben nur eine Schattenlinie bildet, die schwerlich über 50 geographische Meilen Breite hat. Von jetzt an erscheint dieser Halbkugel der Ring beständig von der Sonne erleuchtet, zuweilen in einigen Kreisen der heifsern Zone mit blendendem Reflex. Selbst nach dem Untergehen und vor dem Aufgange der Sonne bleibt ein Theil des Ringes von der Sonne bestrahlt; nur um Mitternacht ist der gröfsere Theil desselben im Schatten des Hauptkörpers. So werden während des fast 15jährigen Sommers jene Regionen der hellsten Tage, die nur durch eine fünfstündige Nacht unterbrochen werden, genieſsen, während ihre Nächte vom Schimmer des Ringes erleuchtet sind. Auf diese Weise ersetzt eine fast ununterbrochene mehrjährige Helligkeit jene 10- bis 12jährige Nacht, die nur vom wohlthätigen Glanz der sieben Monde gemildert wird. Wenn auch eben dieses siebenfachen Mondenlichts wegen die Thätigkeit der Saturnsbewohner weniger Störung erleidet, als wir bei einer so langen Umnachtung uns denken mögen, so mufs doch die vegetabilische Welt diese dauernde Beraubung des Son-

nenlichtes auf eine Weise empfinden, die in ihr Leben ei
Modification bringt, von der wir uns keinen Begriff mach
können. Nichts zu sagen von dem Unterschiede der Jahre
zeiten in Beziehung auf die Temperatur, der, wenn etwa ei
dichtere Atmosphäre die Quelle der Wärmeentwickelung se
sollte, dort nur um so bedeutender seyn mufs.

Woraus besteht nun aber dieses in seiner Art einzige G
bäude eines nahe 600 geographische Meilen (mehr als 3 Mi
lionen Fufs) breiten und etwa 400000 Fufs dicken freischw
benden Ringes? So weit unser Auge die Gestalten der Hi
melskörper erkennen mag, sind alle kugelförmig gebildet, u
selbst unsre Erde, die wir als festen Körper kennen, hat eb
diese Form. Sollte der Saturnsring in seiner ganzen anomal
Gestaltung ebenfalls ein fester Körper seyn? Ich glaube
nicht. Vielmehr halte ich ihn für eine durch Centrifuga
kraft von dem Planeten losgeschleuderte Wassermasse in duns
förmiger Gestalt, für einen *Wolkenzug*. Nur eine so leic
verschiebliche Masse dieser Art konnte und mufste das Ma
ximum der Abplattung, die Gestalt einer ganz platten durch
brochenen Linse oder einer Scheibe annehmen. Schon d
glänzendere, hellere Weifs in Vergleichung zum Saturnskö
per deutet auf eine Verschiedenheit der Stoffe, und kau
dürfte es aufser dem Schnee etwas Helleres geben, als ein
von der Sonne beschienene Wolke. Man hat zwar die Schwär
des Ringschattens auf dem Saturn und diejenige des letzte
auf dem Ringe als Kennzeichen seiner körperlichen Solidit
aufgestellt, allein die nämliche Undurchdringlichkeit für di
Lichtstrahlen würde auch bei unserer Annahme statt findet
Vermag doch auf unserer Erde, wo die Intensität des Son
nenlichts fast hundertmal gröfser ist, eine Wolkenschicht vo
nur 600 bis 1000 Fufs Dicke die Sonnenstrahlen gröfsten
theils aufzuhalten, so dafs sie einen kräftigen Schlagschatte
wirft. Wie vielmehr sollte eine wenigstens 400mal dichter
Wolkenwand es zu thun vermögen. Auch die Schatten de
Personen in den bekannten Nebelbildern auf hohen Berge
schneiden sich auf der gegenüberstehenden Wolke mit alle
Deutlichkeit ab. Unsre Erde zeigt sich uns als ein Conglo
merat von gröfsern und kleinern Steinen, vom Sandkorn bi
zur Masse des Montblanc oder des Himalaja-Gebirges; wi
tief diese wurzeln, wissen wir nicht, nur so viel sehen wi

Digitized by Google

dafs auch diese scheinbar unzerbrechlichen Massen durch Kräfte, die noch weit unter den kosmischen stehn, zersprengt, emporgehoben und umgestürzt sind. Mit welchem Schrecken würden wir einen so ungeheuern Bogen aus grofsem und kleinem Gestein über uns aufgethürmt sehn, dessen Einsturz die Vernichtung ganzer Geschlechter zur Folge hätte, und was würde man von der Tenacität eines solchen Gewölbes halten, das aus Stoffen besteht, deren specifische Dichtigkeit nur etwa $\frac{1}{4}$ von derjenigen der Erde ist? Wie auf dem Saturn der Zusammenhang des Wassers, die Eis-, Dampf- und Dunstbildung, zumal in der Luftverdünnung und Temperatur der höhern Regionen beschaffen seyn, welche Gesetze sie befolgen möge, darüber haben wir kaum Vermuthungen; nur so viel wissen wir, dafs die Natur, mit Grundstoffen und Grundformen sparsam, durch geringe Modificationen, Verbindungen und Uebergänge eine unendliche Mannigfaltigkeit von Gebilden zu erschaffen und Bedingungen auszuführen weifs, deren Erfüllung dem menschlichen Verstande unmöglich erscheint. Dahin gehören namentlich die Temperaturverhältnisse der Planeten in den verschiedenen Tiefen unsers Sonnensystems und die Bedingungen ihrer Bewohnbarkeit durch Thiere und Pflanzen, von ähnlicher physischer Beschaffenheit, wie die unsers Erdballs. Sollten wir also nicht annehmen dürfen, dafs derjenige Stoff, der auf unserm Planeten die Quelle und Bedingung des organischen Lebens ausmacht, das Wasser, auch auf andern Himmelskörpern ebendiese Verrichtung erfülle, und dafs die Natur auch in den kalten Fernen des Saturns mit dem nämlichen Stoffe und nach den gleichen Gesetzen wie auf der Erde thätig sey? Lassen wir den Saturnsring aus Wasserdunst oder Wolken bestehn, so fällt dann auch das Unbegreifliche 100 Meilen hoher Gebirge weg und die oben erwähnte Verschiedenheit in den Beobachtungen Herschel's und Schröter's findet in der Beweglichkeit und Veränderlichkeit des Stoffes eine ungezwungene Erklärung. Dafs übrigens auch der verwaschenste Nebel auf die Entfernung von 200 Millionen Meilen als ein scharfbegrenzter Körper erscheinen müsse, bedarf keines besondern Erweises.

H.

Sauerstoff.

Oxygen; *Oxygenium*; Oxigène; *Oxygen.*

Scheele's und Priestley's Versuche vorzüglich zeigt dafs die früher für einfach gehaltene atmosphärische Luft zv verschiedene Luftarten enthalten müsse, von welcher blofs eine zum Unterhalten des Verbrennens und des Lebens Thiere tauglich sey, und es gelang ihnen, in den Jahren 17 und 75 diese Luftart für sich, als sogenannte *Lebensl Feuerluft* oder *dephlogistisirte Luft* darzustellen. Lavois zeigte, dafs sie gleich allen übrigen wägbaren elastischen Fl sigkeiten aus Wärme und einer wägbaren Grundlage beste müsse, welche er, da sie bei ihrer Verbindung mit viel Stoffen Säure bildet, säureerzeugenden Stoff oder Sauerst nannte.

Der Sauerstoff ist das verbreitetste Element; er ma dem Gewichte nach 0,23 der atmosphärischen Luft, 0,89 Wassers und gegen 0,3 der festen Erde aus, so weit wir kennen.

Man erhält das Sauerstoffgas durch Erhitzen des chl sauren Kali's, des Quecksilberoxyds, des Braunsteins oder Salpeters für sich, oder des Braunsteins mit Vitriolöl in gl sernen, irdenen oder eisernen Retorten, die mit einer Gase wickelungsröhre verbunden sind, und Auffangen des Ga über Wasser oder Quecksilber. Es ist farblos, von 1,10 spec. Gew., geringer lichtbrechender Kraft, geruchlos und g schmacklos.

Es unterhält das Athmen der Thiere und sehr lebh das Verbrennen, die bei seiner raschen Compression beobac tete Lichtentwickelung rührt nach Thénard von einer Ve brennung des Fettes her, womit der Stempel eingeschmi ist. Die stärkste bis jetzt versuchte Compression bewirk keine Verdichtung des Sauerstoffgases zu einer tropfbaren Fl sigkeit, so dafs wir den von andern wägbaren Stoffen getren ten Sauerstoff blofs in Gasgestalt kennen.

Kein Element geht so viele, so innige und so wichti Verbindungen ein, wie der Sauerstoff. Meistens ist jedo zur Einleitung seiner Verbindung mit andern Stoffen eine h here Temperatur, als die gewöhnliche, erforderlich. M

Digitized by Google

gröſserer Affinität gegen den Sauerstoff begabte Stoffe verbinden sich mit demselben unter lebhafter Feuerentwickelung oder mit der Erscheinung der Verbrennung und sie werden deshalb brennbare Stoffe genannt. Hierbei zeigt sich entweder ein *Glühen*, wenn der verbrennende Körper nicht elastisch flüssig ist, oder eine *Flamme*, wenn er elastisch flüssig ist. Die Flamme ist hellleuchtend, wenn sie fein vertheilte feste Materie enthält, von geringer Leuchtkraft, wenn dieses nicht der Fall ist. Die Farbe der Flamme hängt theils von der Temperatur ab, indem z. B. kaltes Kohlenoxydgas mit blauer, aber erhitztes mit rothgelber Flamme verbrennt, theils von der Natur der in der Flamme befindlichen Stoffe. Hat man die Verbrennung des Sauerstoffs mit einem brennbaren Körper durch höhere Temperatur oder auf andere Weise eingeleitet, so setzt sich die Verbrennung in dem Falle fort, wenn die sich bei der Verbindung entwickelnde Wärme den brennbaren Körper auf der Temperatur erhält, bei welcher er fähig ist, sich mit dem Sauerstoff zu vereinigen. Je gröſser die Differenz zwischen dieser Temperatur und der der Umgebung ist, je weniger Wärme bei der Verbrennung entwickelt wird, je mehr das Sauerstoffgas verdünnt oder mit fremdartigen, nichts zur Verbrennung beitragenden Gasen gemengt ist, und je mehr durch die Berührung fester oder tropfbar flüssiger Körper Wärme abgeleitet werden kann, desto eher sinkt die Temperatur des verbrennenden Körpers unter den Verbrennungspunct und die Verbrennung hört auf.

Die Verbindung des brennbaren Körpers mit Sauerstoff, der *verbrannte Körper*, wiegt genau so viel, wie der verschwundene brennbare Körper und der Sauerstoff zusammen. Die bei der Verbrennung frei werdende Wärme läſst sich nicht aus der geringeren Wärmecapacität der neuen Verbindung erklären; denn die Capacität mehrerer unter starker Feuerentwickelung erzeugten Verbindungen, z. B. des Wassers, ist gröſser, als die durch Rechnung gefundene mittlere Capacität ihrer Bestandtheile. Auch die Flüssigkeitswärme des Sauerstoffgases, welche bei der Verbindung des Sauerstoffs mit den brennbaren Stoffen frei wird, genügt nicht zur Erklärung; denn der im Salpeter enthaltene Sauerstoff ist nicht gasförmig und erzeugt doch viel Hitze bei seiner Verbindung mit Kohle, wiewohl hierbei gerade ein Gas erzeugt und also Flüssigkeitswärme latent ge-

macht wird. Man mufs deshalb entweder annehmen, d
Sauerstoff oder brennbare Stoffe oder beide zugleich eine
deutende Menge Wärme innig gebunden enthalten, ohne d
diese einen flüssigen Zustand hervorbringen, und dieselbe f
werden lassen; wenn sie durch Verbindung mit einander il
Affinität gegen wägbare Stoffe befriedigt haben, oder n
der elektrochemischen Ansicht, dafs der Sauerstoff viel po
tive (oder negative) und der brennbare Körper viel negat
(oder positive) Elektricität gebunden enthalte, welche beid
Elektricitäten sich bei der Verbindung des Sauerstoffs mit
nem brennbaren Körper ebenfalls und zwar zu Licht u
Wärme vereinigen.

Man theilt die Verbindungen des Sauerstoffs mit d
übrigen Stoffen in *saure* und *nicht saure*. Die sauren s
die *Sauerstoffsäuren*, z. B. Kohlensäure, Schwefelsäure, S
petersäure, Phosphorsäure und Arseniksäure. Die nicht sa
ren Verbindungen des Sauerstoffs, die *Oxyde*, verhalten s
entweder als Salzbasen, oder sie enthalten zu wenig Sau
stoff, um einen sauren oder basischen Charakter zu zeig
Suboxyde, oder sie enthalten zu viel Sauerstoff, um als Sa
basen auftreten zu können, *Hyperoxyde*, und endlich geh
zu ihnen auch das *Wasser*.

G.

Schall.

Sonus; Son; *Sound*.

Wenn man den Ausdruck in gröfster Allgemeinheit nim
so bezeichnet das Wort *Schall* alles Hörbare. Keine and
Sprache ist rücksichtlich der hierzu gehörigen Gegenstände
reich und so bestimmt, als die deutsche, und namentlich k
Chladni[1] über die Schwierigkeiten, welche die französis
einer scharfen Bestimmung der Begriffe entgegenstellt. N
dem gehörig geregelten Sprachgebrauche heifst Schall im
gemeinen alles Hörbare und fafst als allgemeiner Ausdr
alles hierzu Gehörige in sich, wobei die Unterscheidungen
Einzelnen nicht willkürlich angenommen, sondern der
tur der Sache nach festgesetzt sind. Ist nämlich der Sc
nicht gleichmäfsig bleibend, sondern regellos wechselnd,

1 Neue Beiträge zur Akustik. Leipz. 1817. 8. 7.

heifst er ein *Geräusch*, bei gröfserer Heftigkeit ein *Getöse*, bei grofser Stärke und schnellem Vorübergehn ein *Knall*; ist der Schall dagegen regelmäfsig, gleichartig und bestimmt, so nennt man ihn *Ton*, welcher zwar bis zu einer gewissen Grenze rein oder schwankend seyn kann, über diese hinaus aber in ein Geräusch übergeht. Nicht allezeit wird Ton und Klang hinlänglich bestimmt unterschieden, ja man darf sagen, dafs der Sprachgebrauch über die eigentliche Bedeutung beider Worte noch nicht mit genügender Schärfe und der erforderlichen Allgemeinheit entschieden hat; denn selbst CHLADNI[1] unterscheidet zwischen Geräusch und Klang, beide zum Schalle gehörig, wovon letzterer durch solche Schwingungen erzeugt werden soll, die gleichartig und bestimmbar sind, ersteres aber durch solche, die es nicht sind; ein Ton aber soll es dann heifsen, wenn man bei einem Klange blofs auf die Geschwindigkeit der zitternden Bewegung, nicht aber auf die Eigenschaften und Gestaltveränderungen des klingenden Körpers Rücksicht nimmt. Allein dann fehlte uns ein Wort zur Bezeichnung der Eigenthümlichkeit der verschiedenen Töne, indem diese, rücksichtlich der Höhe und Stärke einander gleich, dennoch unterscheidbar sind, z. B. der nämliche Ton einer Geige, des Horns, der menschlichen Stimme u. s. w. Was also den Unterschied der verschiedenen gleich hohen Töne bedingt, nennen wir ihren *Klang*, wie aus dem bestehenden Sprachgebrauche folgt, indem man sagt, der Ton der Flöte klinge anders, als der eines Forte-Piano, und auch CHLADNI sagt, hiermit übereinstimmend, es heifse: das Instrument hat einen guten Klang, nicht aber: einen guten Ton, und ebenso sage man: ein hoher Ton, nicht aber ein hoher Klang[2].

---

1 Die Akustik, bearbeitet von ERNST FLORENS FRIEDRICH CHLADNI etc. v. Leipz. 1802. 4. Die französische Umarbeitung oder Uebersetzung dieses Werkes heifst: Traité d'Acoustique par E. F. F. CHLADNI etc. Par. 1809. 8. Diese beiden classischen Werke werden von mir schlechthin unter dem Namen Akustik und Acoustique angeführt, auch beziehe ich mich stets auf das erstere, wenn ich CHLADNI ohne Bezeichnung der Quelle nenne. In der Akustik S. 3. befinden sich die erwähnten Wortbestimmungen, mit Nachweisungen auf andere Autoritäten. Vergl. Neue Beiträge zur Akustik von E. F. F. Chladni. Leipz. 1817. 8. S. 57.

2 Nach CHLADNI neue Beiträge S. 57. hat die französische Sprache den Vorzug, die Eigenthümlichkeit der Töne durch *timbre* zu

Worauf aber diese Eigenthümlichkeit der Töne, die v
durch *Klang* bezeichnen, beruhe, wird in der Folge erläut
werden.

Diejenige wissenschaftliche Disciplin, welche alles, v
sich auf den Schall bezieht, untersucht, heifst die *Schalllel*
ein nicht gebräuchlicher Ausdruck; gangbarer dagegen ist
aus dem griechischen Worte *ἀκούειν*, hören, entnommene *A*
stik, lateinisch *Acustica* (näml. ars oder die blofse Umbildu
des griechischen Wortes in *acustice*), französisch *Acoustiq*
englisch *Acustics*. Jeder dieser Ausdrücke ist geeignet,
Untersuchung alles desjenigen daran zu knüpfen, was sich
den Schall bezieht. Alles was hierzu gehört, kann füg
in drei Abschnitte vertheilt werden, wovon der erstere ü
Hervorbringung, der zweite über die Fortpflanzung und
dritte über die Wahrnehmung des Schalles vermittelst der
hörwerkzeuge handelt.

1. Entstehung des Schalles.

1) Schon Aristoteles[1] hatte sehr richtige Begriffe ü
den Ursprung und die Fortpflanzung des Schalles, die er
de als eine Folge gewisser *Schwingungen* ansah. Letzt
nannte man später im Allgemeinen Bebungen, ohne deren
gentliche Beschaffenheit näher zu untersuchen, indem der
genschein solche bei einer grofsen Menge schallender Kö
nachwies. Als man später die Sache genauer untersuc
glaubte man das eigentliche Wesen in ein *Erzittern der kl*
sten Theile setzen zu müssen, weil es überhaupt Tendenz
Zeitalters war, die Erscheinungen auf das Verhalten der kl
sten Theile zurückzuführen, die man jedoch niemals ge
kennen zu lernen vermochte. Diese Erklärung gaben ins
sondere Perrault[2], Carré und de la Hire[3], wobei l

---

bezeichnen. Allerdings hat dieses Wort die angegebene Bedeut
allein nicht so bestimmt und ausschliefslich, als sie für das deut
Wort Klang angenommen werden kann, indem es zugleich noch
Glocke und eigentlich die Reinheit der Stimmung bezeichnet.
Engländer bedienen sich des Ausdrucks *Quality*, dessen Bedeutun
aber erst dann bestimmen.

1 Fragm. de Audib. T. I. p. 735. ed. 1590. Vergl. Bibl.
XVIII. 334.

2 Mém. de Paris. T. I. p. 145.

3 Ebend. 1704. Hist. p. 88. 1716. p. 262.

Digitized by Google

mer sich auf den Versuch berief, dafs eine Ofengabel, wenn man ihre Schenkel zusammendrückt und wieder auseinander schnellen läfst, nicht tönt und nur dann einen Ton giebt, wenn sie einen harten Körper berührt, eine zwar richtige, aber auf eine ganz andere Weise zu deutende Erfahrung. Auch Muschenbroek [1] trat dieser Ansicht bei, und seiner mit Recht grofsen Autorität folgten lange nachher die meisten Physiker, so dafs selbst dann noch, als unlängst die richtigern Ansichten bekannt gemacht waren, von einem solchen Zittern geredet wurde. So machte unter andern Voigt [2] die Erscheinung bekannt, dafs aus der Oberfläche des Wassers in einem Glase, dessen Rand mit einem nassen Finger gestrichen wird, kleine Undulationen nach Art eines ausgebreiteten Milchbarts sich zeigen, was er als eine Folge der Bebungen kleiner Theile ansieht; ein Versuch, welchen übrigens schon Galilei [3] erwähnt. Unterdefs wurde die richtige Ansicht, wonach der Schall durch pendelartige Schwingungen erzeugt wird, von den gröfsten Geometern genügend erwiesen. Wenn man als ausgemacht ansehn darf, dafs diejenigen Wellen, wodurch der Schall erzeugt wird, von denen nicht wesentlich verschieden sind, die seine Fortpflanzung bedingen, so ist Newton der erste, welcher hierüber die richtigen Ansichten begründete; nachher haben sich Sauveur, Johann Bernoulli, Jacob Bernoulli, Daniel Bernoulli, Riccati und insbesondere L. Euler um diesen Zweig der mathematischen Physik Verdienste erworben. Chladni hat das Ganze zuerst zu einem vollständigen Systeme geordnet, welchem später durch die gehaltreichen Bemühungen von Poisson, Savart, Thom. Young, den Gebrüdern Weber und andern gelehrte wesentliche Erweiterungen zu Theil geworden sind. Die neueste Zusammenstellung des Ganzen in einer wissenschaftlichen Anordnung verdanken wir den Bemühungen des jüngeren Herschel [4]. Die Verdienste dieser und anderer Gelehrten wer-

---

1 Introduct. T. II. p. 2191. in motu tremulo partium minimarum.

2 Magazin für das Neueste aus d. Physik. Bd. VII. St. 1. S. 46.

3 In seinen Dialogen über Mechanik; nach Gehler a. A. Bd. III. S. 804.

4 Seine schätzbare Darstellung der Schalllehre (*Sound*) findet sich in der Encyclopädia metropolitana cet. Mixed Sciences. T. II.

den in der Folge bei den einzelnen Untersuchungen näher bezeichnet werden.

2) Zur Entstehung eines Schalles ist erforderlich, dafs irgend ein bewegter Körper gegen einen andern stofse und dadurch einen Impuls erzeuge, welcher durch ihn selbst oder nach geschehner Mittheilung an einen andern ohne zu grofse Schwächung seiner Stärke oder gänzliche Unterbrechung durch einen leeren Raum bis zu den Gehörwerkzeugen fortgepflanzt werde. Die Art des erzeugten Schalles wird dann durch die Eigenthümlichkeiten der genannten Stöfse bedingt. Die Schalllehre kann daher keineswegs, wie früher zu geschehn pflegte, den Untersuchungen über das Verhalten der Luft angereihet werden, sondern gehört nach Chladni zu den Bewegungsgesetzen, obgleich bei ihr blofs gewisse eigenthümliche Bewegungen zur Untersuchung kommen. Eine blofse Bewegung, sey es eines festen oder flüssigen Körpers bringt keinen Schall hervor, wie man daraus ersieht, dafs die in einem Rohre bewegte Luft, wenn auch ihre Strömung weit schneller ist, als bei einem wirklich erzeugten Tone, dennoch nicht hörbar ist, ebenso wie eine noch so schnell fliegende Kugel, indem das Pfeifen und Schwirren der letztern blofs durch die Stöfse erzeugt wird, die sie bei ihrer Bewegung der Luftschichten oder die diese durch den erhaltenen Impuls sich einander mittheilen. Es mufs daher jederzeit ein Stofs oder eine gewisse Anzahl Stöfse vorhanden seyn, wenn ein Schall entstehn soll.

3) Wenn zwei Körper gegeneinander stofsen, so kann unter der Voraussetzung, dafs sie vollkommen hart sind, nichts anderes statt finden, als eine gemeinschaftliche Bewegung beider, oder Ruhe, wenn beider Bewegungsmomente einander gleich und entgegengesetzt sind oder die Masse des gestofsenen unendlich grofs ist; weder die Bewegung an sich, noch vielweniger die Ruhe kann jedoch einen Schall hervorbringen und dieser daher durch einen blofsen Stofs nicht entstehn. Indefs giebt es keinen absolut harten Körper, alle sind vielmehr in einem verschiedenen Grade mehr oder minder elastisch, ihre Theile kommen daher in eine Art von Oscillation,

---

Lond. 1830. Diese von mir im gegenwärtigen Artikel vielfach benutzte Abhandlung wird allezeit verstanden, wenn ich ohne Weiteres ihren Verfasser als Autorität nenne.

Digitized by Google

wodurch zwar ein Schall, aber wegen mangelnder Regelmäfsigkeit kein Ton, sondern nur ein Knall, ein Geräusch oder bei öfterer regelloser Wiederkehr ein Getöse erzeugt wird. Alle Körper ohne Unterschied sind daher fähig, ein solches Geräusch hervorzubringen, dessen Stärke der Heftigkeit des Zusammenstofsens proportional ist; es wird daher wahrgenommen beim Schlagen mit einem Hammer gegen einen Stein oder irgend einen sonstigen Körper, beim Zusammenstofsen zweier Bleikugeln, beim Schlagen mit einer flachen Degenklinge auf die Fläche des Wassers, beim Zusammentreffen zweier Wassermassen im Wasserhammer, beim plötzlichen Eindringen der Luft in ein Vacuum oder einen mit verdünnter Luft erfüllten Raum, z. B. beim schnellen Oeffnen eines Pennals, dem Zerplatzen einer gedruckten Thierblase, beim Durchschneiden der Luft vermittelst einer Peitschenschnur, bei den Explosionen des Geschützes, beim Donner und in zahllosen andern Fällen. Ein solcher Knall kann oft und in ungleich langen Zeitintervallen wiederkehren, indem er entweder jedesmal neu erzeugt oder von geeigneten Körpern reflectirt wird, wie ersteres namentlich beim wiederholten Schlagen mit einem Hammer, letzteres beim Getöse des Donners vorkommt, allezeit aber wird es blofs ein Geräusch seyn, welches dadurch entsteht, dafs derselbe Knall sich selbst gleich oder von wechselnder Stärke wiederholt wird.

Inzwischen fängt ein solches Geräusch an in einen Ton überzugehn, sobald jeder Knall so schnell erfolgt, dafs das Ohr kein dazwischen liegendes Zeitintervall mehr zu unterscheiden vermag. Wenn z. B. der Zahn einer Säge gegen einen Nagel stöfst, so erzeugt dieses ein Geräusch, sobald aber bei schnell bewegter Säge die Zähne in sehr kleinen Zeitintervallen den Nagel treffen, so nähert sich dasselbe einem Tone. Hält man einen Stab gegen die Zähne eines schnell umlaufenden Rades, so tritt der Uebergang zu einem Tone dann ein, wenn das Schlagen jedes einzelnen Zahnes gegen den Stab unterscheidbar zu seyn aufhört. Auf gleiche Weise haben manche im Donner einen Ton wahrnehmen wollen, welcher nur durch die wiederholten Reflexionen des ursprünglichen Knalles von zurückwerfenden Körpern erzeugt werden könnte, und etwas ähnliches zeigt sich bei vorzüglich schönen

Digitized by Google

Echo's in Bergen und Wäldern nach den Explosionen der Schiefsgewehre.

4) Aus allem diesen ergiebt sich also, dafs einzelne Pulsus[1], die einander nahe genug liegen, einen Ton erzeugen. Wissenschaftlich ist dieses, nämlich dafs blofse Pulsus einen Ton und zwar einen desto höhern erzeugen, je mehr ihre Menge in einem gegebenen Zeitintervalle zunimmt, durch die *Sirene*[2] dargethan, bei welcher der Strom irgend einer elastischen oder tropfbaren Flüssigkeit in einem schnellen und zugleich regelmäfsigen Wechsel unterbrochen wird, woraus zugleich hervorgeht, dafs eine schnelle und der Zeit nach regelmäfsige Folge und Gleichartigkeit dieser Pulsus nothwendige Bedingungen der Töne sind, deren Höhe zugleich von der Menge derselben abhängt. Ohne dieses Instrument gelangt man indefs auf einfache Weise zu dem nämlichen Resultate. Wenn man nämlich mit einem harten Körper langsam über einen andern rauhen oder mit Furchen versehenen, z. B. mit einem Schlüssel über ein mit harten Fibern versehenes Bret hinfährt, so wird man bei jedem Stofse gegen eine einzelne Erhabenheit ein Getöse, ein Geräusch hören, so lange jeder Stofs einzeln unterscheidbar ist, es zeigt sich aber ein Uebergang zum Tone, sobald die Pulsus einander so nahe kommen, dafs die Wahrnehmung jedes einzelnen verschwindet; dieses findet statt bei schnellerer Bewegung des gegen die Rauheiten stofsenden Körpers, und mit dieser zunehmenden Geschwindigkeit wächst die Deutlichkeit und zugleich die Höhe des erzeugten Tones. Aus diesem nämlichen Grunde entsteht nicht blofs ein ganz eigentlich bestimmter, sondern auch zugleich ein starker und wegen seiner Höhe und Schärfe unangenehmer Ton, wenn Flächen, insbesondere metallene, mit einem scharfen Stahlbleche geschabt werden, wobei dann die eigentlich wirksamen Erhabenheiten wegen ungleicher Härte des Materials bald auffallend wahrnehmbar zum Vorschein kommen. Auf einem ähnlichen Verhalten beruhen die unangenehmen pfeifenden, auch schneidend genannten Töne beim

---

1 Das Wort, Stofs, würde diese Sache bezeichnen, indefs hat dasselbe in der Akustik bereits eine andere Bedeutung, wie sich unten zeigen wird.

2 Sie wird weiter unten beschrieben werden.

Digitized by Google

Hingleiten eines Messers oder einer Gabel über der Fläche eines porzellanenen Tellers, eines Rechenstiftes auf einer Schiefertafel, das sogenannte Pfeifen oder Schreien (Quiken, Quikken) nicht geschmierter Zapfen oder sonstiger geriebener Maschinentheile, das pfeifende Geräusch, welches bei dem durch Clement und Hachette beschriebenen pneumatischen Versuche[1] zum Vorschein kommt, und andere Töne gleichen Ursprungs. Savart[2] hat die Töne, welche bei Clement's Versuchen gehört werden, ausführlich untersucht, und ist dadurch zu dem Resultate gelangt, dafs sie nicht von den Stöfsen der Scheiben gegen die Oeffnungen, also nicht von einfachen Pulsationen, wie die bei der Sirene, sondern von transversalen Schwingungen derselben, wie die bei den Chladni'schen gestrichenen Scheiben, herrühren. Einen Hauptbeweis, welchen er unter mehrern zur Unterstützung dieser Hypothese anführt, findet er darin, dafs die von gleich dicken, aber ungleich grofsen Scheiben entstehenden Töne den Durchmessern derselben umgekehrt proportional sind. Es würde zu weit führen, alle einzelne Argumente hier zu prüfen, allein hauptsächlich streitet gegen diese Ansicht der Umstand, dafs die Scheiben auf ihre Unterlage abwechselnd aufschlagen, wodurch ihre Schwingungen gehindert und die Töne unterbrochen werden müfsten. Aufserdem lassen sich die Töne auch mit Papierscheiben durch Blasen mit dem Munde erzeugen, wobei sie allmälig feuchter werden und demnach eine veränderte Elasticität erhalten, mithin auch einen andern Ton geben müfsten, wenn man sie überhaupt bei fast gänzlicher Abwesenheit aller Spannung für elastisch genug zur Annahme der erforderlichen Schwingungen halten will, was mir auf jeden Fall nicht glaublich scheint. Hiernach und aus den Gründen, die mir aus zahlreichen Beobachtungen der auf diese Weise erzeugten Töne zu folgen scheinen, bin ich geneigt, sie blofs für das Resultat der einzelnen schnellen Stöfse zu halten, die beim stets wiederholten Aufschlagen der Scheiben statt finden, und sie also neben die durch die *Sirene* erzeugten zu reihen. Diesen ähnlich ist das Pfeifen oder Summen der Geschützkugeln, wenn sie durch die Luft fliegen, welches

---

1 Vergl. *Pneumatik.* Bd. VII. S. 680.
2 Ann. Chim. Phys. XXXV. p. 53.

nach der Ansicht von W. Herschel[1] dadurch erzeugt wird, dafs die mit zahlreichen Unebenheiten versehene Kugel bei ihren schnellen Drehungen Partikeln der Luft in schnellen und regelmäfsigen Wechseln gewaltsam fortstöfst. Die Höhe des Tones hängt also hauptsächlich von der Geschwindigkeit ihrer Bewegung ab, wonach die Stöfse regelmäfsiger erfolgen und wobei zu berücksichtigen, dafs die Luft an den verschiedenen Theilen der Kugel von ungleicher Dichtigkeit ist.

5) Vergleichen wir die hier gefundenen Resultate mit den Erscheinungen, die wir bei andern tönenden Körpern wahrnehmen, so gelangen wir bald zu der Ueberzeugung, dafs ähnliche Pulsus bei ihnen insgesammt die Entstehung der Töne bedingen. Die Betrachtung einer tönenden Saite, eines fest eingeklemmten Stabes, der Schenkel einer mit ihrem Stiele festgestellten angeschlagenen Stimmgabel u. s. w. zeigt nämlich, dafs auch diese Körper insgesammt oscilliren, indem die durch diese Schwingungen erzeugten Stöfse berührenden Körpern mitgetheilt werden und auf diese Weise zum Gehör gelangen. Dabei zeigt schon der blofse Anblick ohne eigentliche Messung, dafs die Höhe der erzeugten Töne mit der Schnelligkeit dieser Oscillationen wächst. Forschen wir aber nach der Ursache, weswegen diese Töne für das Ohr nicht so unangenehm sind, als die oben genannten, so ergiebt sich bald, dafs die den Ton bedingenden Pulsus bei jenen schnellen Tönen als einzelne Stöfse, bei diesen angenehmeren aber als pendelartige Schwingungen mit einem allmäligen Uebergange aus der Ruhe zum Maximum der Geschwindigkeit und wieder zur Ruhe bestehn. Diese Ueberzeugung wird dadurch noch mehr begründet, wenn wir wahrnehmen, dafs diejenigen Körper, welche rücksichtlich ihrer Masse, ihrer Dicke und ihrer Spannung am meisten gleichmäfsig sind, auch die angenehmsten Töne erzeugen. Die klarste Vorstellung des Verhaltens der Körper bei der Erzeugung des Schalles gewährt aber der Anblick einer gespannten Saite, wenn man sie aus der Mitte aus ihrer geraden Richtung zieht, dann zurückschnellen und oscilliren läfst, so dafs ein etwas tiefer, aber wohlklingender und hinlänglich starker Ton entsteht. Hierbei sieht man deutlich, dafs die Saite an beiden Enden auf der

1 Encyclop. metrop. Art. Sound. p. 778.

sie stützenden Stegen ruhet, in ihrer Mitte aber pendelartig schwingend Bogen durchläuft, so dafs man sie als zwei gleiche, in der Mitte vereinte Pendel betrachten kann, bei denen die Spannung statt der Schwere wirkt und diesemnach zwei Aufhängepuncte und ein gemeinschaftliches Centrum Oscillationis anzunehmen sind. Ein ähnliches Verhalten zeigen alle schallende Körper, wenn auch minder deutlich, man führt daher mit Recht den Ursprung der Töne insgesammt auf pendelartige Schwingungen zurück, wobei man die Ruhepuncte mit dem Namen *Schwingungsknoten*, die vibrirenden Theile durch *Schwingungsbogen* bezeichnet, und hiernach den ganzen Procefs einer geometrischen Construction unterwirft. Die erste Hauptaufgabe der Akustik ist daher, das Verhalten der verschiedenen Körper rücksichtlich dieser die Töne erzeugenden Schwingungen zu untersuchen, die man wegen ihrer Aehnlichkeit mit den Wellen auch *Schallwellen* genannt hat.

6) Eine nothwendige Bedingung zur Erzeugung des Schalles ist ein gewisser höherer Grad der Elasticität der Körper, wenn sie überhaupt zum Tönen geeignet seyn sollen, weil ein geringes Mafs dieser Eigenschaft nicht hinreicht, damit hinlänglich schnelle, in genügender Menge sich wiederholende und den erforderlichen Raum durchlaufende Oscillationen der tönenden Körper statt finden, indem vielmehr die Körper im gleichen Verhältnisse ihrer Elasticität zur Erzeugung eines Tones geeignet sind. Die sehr weichen und biegsamen Metalle, als reines Gold und Blei, ebenso wie alle durch Feuchtigkeit sehr erweichte Substanzen, eignen sich daher nicht zur Hervorbringung eines Tones, und wenn dennoch ein Ton zum Vorschein kommt, so ist er auf jeden Fall nur dumpf und unklar, nicht hell und klingend, obgleich alle diese Körper in ähnliche Oscillationen versetzt werden können, wenn sie mit andern schwingenden in Verbindung sind, wie später gezeigt werden wird, weswegen sie den Schall fortzuleiten, aber nicht selbst zu erzeugen vermögen. Alle tropfbare Flüssigkeiten sind insofern wenig elastisch, als sie der zusammendrückenden Kraft mit einer aufserdentlichen Gewalt widerstehn; es scheint dann ferner, dafs sie nicht schnell nach aufhörendem Drucke zu ihrem ursprünglichen Volumen wieder zurückkehren, welches ohnehin durch ihren eigenthümlichen Aggregatzustand gehindert wird; auf jeden Fall können

Digitized by Google

sie nicht füglich in Folge des Trägheitsgesetzes nach der Compression zur Vergröfserung ihres Volumens und dann wieder zur Verminderung desselben übergehn, oder mit einem Worte, sie können nicht in dem erforderlichen Grade oscilliren und daher auch insgesammt keinen Ton erzeugen. Die Untersuchungen über die Schallschwingungen beziehn sich daher blofs auf feste Körper und die sogenannten elastischen Flüssigkeiten.

A. Erzeugung der Töne durch feste elastische Körper.

7) Worin das Wesen der *Elasticität* fester Körper bestehe, ist so weit, als wir dieses bis jetzt zu beurtheilen vermögen, bereits an einem andern Orte[1] untersucht worden; seitdem aber sind noch einige schätzbare Abhandlungen über diesen Gegenstand im Allgemeinen und ohne ausschliefsliche Beziehung auf die Erzeugung des Schalles bekannt geworden, die hier gelegentlich erwähnt zu werden verdienen. Navier[2] stellt das Axiom auf, dafs die Erscheinungen der Elasticität auf einer Veränderung der Lage der Molecülen beruhen. Letztere befinden sich nämlich bei sich selbst überlassenen Körpern im Zustande der Ruhe vermöge des Gleichgewichts der beiden gemeinschaftlich auf sie einwirkenden Kräfte, der Attraction und der Repulsion, die er nach der bekannten Ansicht von La Place als eine Folge der Wärme betrachtet. Kommt alsdann eine äufsere Kraft hinzu, die den Körper auszudehnen oder zusammenzudrücken strebt und welche also die eine der beiden Kräfte unterstützt, während sie der andern entgegenstrebt, so treten Veränderungen in der Lage der Molecülen ein, wofür er die analytischen Ausdrücke durch Differenzialgleichungen sucht. Ungleich vollständiger und in näherer Beziehung zur Schalllehre stehend ist eine gehaltreiche Abhandlung von Poisson[3]. Sie schliefst sich an die bekannten Arbeiten der früheren berühmten Geometer über diese Probleme an und ist vorzüglich wichtig rücksichtlich der zur Lösung

---

1 S. Art. *Elasticität*. Bd. III. S. 167.

2 Mém. de l'Acad. Instit. de France. T. VII. p. 375.

3 Mémoire sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques. Ebend. T. VIII. p. 357.

Digitized by

dieser Aufgaben angewandten analytischen Hülfsmittel. Inzwischen werden die hier zu beobachtenden Grenzen mir nicht gestatten, auch nur den wesentlichen Inhalt derselben anzugeben, und ich mufs mich daher begnügen, auch diese unter den classischen Arbeiten über diesen Gegenstand blofs im Allgemeinen zu benutzen.

8) Die festen oder starren Körper äufsern ihre Elasticität durch Ausdehnungen und Zusammenziehungen nach ihrer Länge, durch Oscillationen in der Ebene ihrer Axe, wenn sie durch irgend eine mechanische Gewalt aus ihrer Ruhe in dieser Lage gebracht werden, und durch zurückgehende Schwingungen, wenn sie gedreht sind. Nach dieser Eintheilung ist ihre Elasticität am gehörigen Orte untersucht worden und es ist interessant, thatsächlich nachzuweisen, dafs durch alle drei Arten auch Töne erzeugt werden. Hiernach lassen sich bei ihnen also *longitudinale*, *transversale* und *drehende* Schallschwingungen unterscheiden, von denen jedoch die transversalen bei weitem die häufigsten sind, während von den longitudinalen blofs bei einigen musikalischen Instrumenten Gebrauch gemacht wird, die drehenden aber schwerlich anders als bei akustischen Demonstrationen vorkommen. Chladni[1] theilt hinsichtlich der Schallschwingungen die sämmtlichen festen Körper ein in solche, die durch Spannung, und solche, die durch innere Steifheit elastisch sind, beide der Gestalt nach fadenförmig oder membranenförmig, wovon die durch Spannung elastischen fadenförmigen transversale und longitudinale Schwingungen zeigen, wozu bei den durch innere Steifheit elastischen fadenförmigen, wenn sie gerade sind, noch die drehenden kommen, die bei den gekrümmten, als den Triangeln, Ringen, Gabeln u. s. w., sicher wegfallen; ob aber bei diesen auch longitudinale vorkommen, wird zwar nicht angegeben, scheint mir aber wahrscheinlich, ebenso wie bei den membranenförmigen, die entweder gerade sind, als Scheiben, oder gekrümmt, als Glocken u. s. w. Die genannten drei Arten von Schwingungen sind bei den verschiedenen Körpern einander sehr ähnlich und können also einen Eintheilungsgrund der folgenden Untersuchungen abgeben, wobei jedoch die transversalen bei weitem die gröfste Abtheilung bilden, und aufser-

1 Neue Beiträge S. 61.

Digitized by Google

dem läfst sich in vielen Fällen nicht einmal genau bestimmen, ob ein Ton blofs durch diese oder gleichzeitig auch durch mitwirkende longitudinale erzeugt wird.

a) Schwingende Saiten.

9) Wenn eine Saite, ein fadenförmiger Körper von willkürlicher Substanz, bei welchem jedoch für diese Untersuchung angenommen wird, dafs er seine Elasticität nicht durch innere Steifheit, sondern durch eine anderweitige spannende Kraft erhalten habe, an beiden Enden befestigt worden ist und durch irgend eine Ursache aus der angenommenen Lage gebracht wird, so kehrt er nach dem Aufhören dieser Einwirkung in seine frühere Lage wieder zurück, indem er wellenartige Bewegungen macht, die rücksichtlich ihrer Gestalt und Geschwindigkeit durch die bedingenden Umstände mannigfaltig modificirt sind. Von den vielen Untersuchungen, welche die Gebrüder Weber[1] über die Art und die Gesetze dieser Wellen mitgetheilt haben, führe ich hier nur folgende zur Erläuterung dienende Erfahrungen an. Zieht man eine mäfsig gespannte weifse Schnur, die in den Puncten A und B an Wirbeln befestigt ist oder noch besser auf geeigneten Stegen ruht, aus ihrer Lage, indem man sie in der Mitte bei α anfafst, und läfst man sie dann zurückschnellen, so kann man ihre Vibrationen wahrnehmen. Sie zeigt sich nämlich in A und B einfach, von beiden Puncten an aber gespalten, indem in der Mitte ein halbdurchsichtiger, von zwei weifsen Streifen begrenzter Raum zum Vorschein kommt, der allmälig schmäler wird, während die Begrenzungen sich einander nähern und zuletzt zur einfachen, endlich ruhenden Schnur übergehn. Hierbei wird der unvollkommen durchsichtige Raum durch die ihn durchlaufende Schnur gebildet, deren Bewegung zu schnell ist, als dafs sie deutlich gesehn werden könnte, die dagegen am Rande zur Ruhe kommt, zurückkehrt und demnach länger verweilend sichtbar wird. Zieht man dagegen

Fig. 27.

1 Wellenlehre auf Experimente gegründet oder über die Wellen tropfbarer Flüssigkeiten mit Anwendung auf die Schall- und Lichtwellen. Von den Brüdern E. H. Weber und W. Weber. Leipz. 1825. 8. S. 439. Dieses classische Werk wird von mir unter der einfachen Bezeichnung *Wellenlehre* häufig citirt werden.

die nämliche Schnur A B an der Stelle b bis b″ herabwärts und läfst sie dann schwingen, so sieht man B c als eine weifse Linie, die gegen die Mitte hin undeutlicher wird; über ihr ist aber ein halbdurchsichtiger Raum, welcher oberhalb in der Richtung B c′ von einer schwachen undurchsichtigen Linie begrenzt ist, von A aus aber liegt die starke undurchsichtige weifse Linie oben, der halbdurchsichtige Raum aber unter ihr. Es liegt also zwischen den beiden Schwingungsknoten nur eine Wellenbreite, allein der Gipfel derselben läuft bei jeder Schwingung von A bis B, und kehrt bei jedem Anprallen an einen derselben um, wobei es nach Weber merkwürdig ist, dafs der einzelne Punct die grofse Excursion c c′ in der nämlichen Zeit als die kleine c c″ vollendet. Beide auf diese verschiedene Weise erzeugte Töne sind daher der Höhe nach einander gleich, hinsichtlich des Klanges aber verschieden. Es ist diesemnach in Beziehung auf den zu erzeugenden Ton keineswegs gleichgültig, an welcher Stelle eine unveränderlich gespannte und also isochronisch schwingende Saite in Schwingungen gesetzt wird, was bei der Führung des Violinbogens in Betrachtung kommt, auch pflegen die Verfertiger von Forte-Piano's diejenige Stelle für das Anschlagen der Hämmer zu wählen, von welcher sie den reinsten und angenehmsten Klang erwarten, abgesehn davon, dafs bekanntlich der Anschlag der verschiedenen Spieler auf dem nämlichen Instrumente rücksichtlich der Annehmlichkeit der erzeugten Töne so verschieden ist. Fig. 28.

10) Ist es gleich am einfachsten, anzunehmen, dafs eine gespannte Saite zwischen den beiden festen Endpuncten nur eine einfache Schwingung mache (oder dafs zwischen den beiden Schwingungsknoten A und B nur eine Wellenlänge liege), so geht doch aus der Theorie schon von selbst eine mehrfache Abtheilung, insbesondere langer Saiten, hervor. Hierunter gehört aber das Verfahren nicht, wonach namentlich bei den Bogeninstrumenten die Saite mit dem Finger gegen das Griffbret gedrückt wird, weil dann allezeit der Steg und die niedergedrückte Stelle die beiden Knoten abgeben, zwischen denen die Saite schwingt, weswegen es eine Hauptregel des Spielens ist, mit dem Finger möglichst fest aufzudrücken, damit der tönende Theil der Saite scharf bestimmt und der Ton von hinlänglicher Reinheit und angenehmem Klange erhalten

Digitized by Google

werde. Hiervon abgesehn ist klar, dafs bei bestimmten Rue-
Fig. 29. hepuncten A B einer Saite noch ein Schwingungsknoten in a, oder zwei in a′ und a′ oder drei in a″, a° und a″ liegen, oder allgemein, dafs die Saite zwischen ihren beiden festen Endpuncten durch n Schwingungsknoten abgetheilt seyn könnte und dann n + 1 einzelne schwingende Abtheilungen haben müfste. Soll in diesem Falle die Saite tönen, so müssen alle Abtheilungen gleich grofs seyn, damit die Schwingungen derselben in gleichen Zeiten erfolgen, was nur unter jener Bedingung bei gleich dicken und durch gleiche Kraft gespannten Saiten möglich ist. Dafs solche verschiedene Abtheilungen einer Saite durch einen oder mehrere entstehende Schwingungsknoten wirklich statt finden können, läfst sich am einfachsten an einem gewöhnlichen Monochorde auf eine interessante Weise auch dann darthun, wenn die erzeugten Schwingungen zu klein sind, um mit bloſsen Augen gesehn zu werden[1]. Zu
Fig. 30. diesem Ende theilt man die Saite, die auf den Stegen A und B fest aufliegt, in gleiche aliquote Theile, z. B. in 5, die man auf den Resonanzboden des Monochords aufträgt, hängt über die Stellen a′, a″, a‴, kleine Papierstreifen von weniger als 1 Lin. breit und kaum 1 Zoll lang, die in der Mitte eingekniffen sind, und eben solche ungefähr in der Mitte zwischen a und a′, a′ und a″, a″ und a‴, a‴ und B, berührt dann die Saite schwach mit dem Finger oder einem sonstigen weichen Körper in a und streicht sie mäfsig zwischen A und a mit einem Violinbogen, so werden die Reuterchen in a′, a″ und a‴ als den Schwingungsknoten ruhn, in den Zwischenräumen aber durch die erzeugten Wellen herabgeworfen werden.

11) Unter den verschiedenen Anwendungen, die von diesem eben erläuterten Gesetze vorkommen, erwähne ich bloſs diejenigen, deren man sich in der ausübenden Musik bedient. Hierhin gehören hauptsächlich die sogenannten *Flageolet-Töne*, sehr hohe, die man auf den Bogeninstrumenten denen ähnlich hervorbringt, welche eine kleine Pfeife (*Flagioletto*) giebt. Zu diesem Ende berührt man die Saite sanft mit dem Finger und streicht sie leise mit dem Bogen, wodurch sie von selbst durch entstehende Schwingungsknoten in aliquote Theile ge-

---

1 Vergl. J. G. Voigt in Gren N. Journ. Th. II. S. 852.

theilt wird und der Gröfse dieser letztern angemessene Töne giebt. Es versteht sich hierbei von selbst, dafs jede Saite auf diese Weise nur solche Töne erzeugen kann, deren Schwingungen zu denen des eigentlichen Tones ein bestimmtes rationales Verhältnifs haben; es lassen sich jedoch diese Verhältnisse abändern, wenn man namentlich beim Violoncello durch Einsetzen des Daumens (festes Niederdrücken der Saite gegen das Griffbret) den eigentlichen Ton derselben abändert, wie zuerst Lagrange[1] wissenschaftlich untersucht hat. Nach Wenzel[2] lassen sich solche Flageolettöne auch auf der Harfe hervorbringen, wenn man die Saite AB in dem einen Drittel ihrer Länge in a mit dem Ballen des Daumens berührt, mit der Spitze desselben nach a hinzieht und dann schwingen läfst, worauf sie nach und nach die in der Figur gezeichnete Wellenbewegung annimmt und die Quinte der nächst höhern Octave ihres eigentlichen Tones giebt. Vorzüglich werden die Töne der *Aeolsharfe*[3] aus diesen Untersuchungen klar, wenn man annimmt, dafs die leise Berührung des Windes, welche die Saite in Schwingungen versetzt, durch einen partiellen Druck verschiedene Schwingungsknoten erzeugt, die nach den eben aufgestellten Gesetzen keine andern als harmonische Töne geben können. Vielleicht beruhn auch die Töne der bereits erwähnten *Wetterharfe* oder *Riesenharfe*[4] auf gleichen Gründen, mindestens ist dieses wahrscheinlicher, als dafs sie durch eine Volumensveränderung in Folge einer verschiedenen Temperatur erzeugt werden. Fig. 31.

Eine vorzügliche Anwendung finden die hier erläuterten Gesetze bei der Meertrompete (*Trompette marine; Marine trumpet* oder *Trumpet marine*), einem gegenwärtig wenig bekannten, ehemals gangbaren, in der Mitte des 16. Jahrhunderts durch den Italiener Marino oder Marigni erfundenen Instrumente, wobei sich deutlich zeigt, dafs auf die angezeigte Weise nicht alle Töne, sondern nur die durch die rationalen

---

1 Miscellan. Taurin. T. I. §. 51.

2 Wellenlehre. S. 472.

3 Vergl. diesen Art. Bd. I. S. 208.

4 Vergl. *Barometer*. Bd. I. S. 799. An dieser Stelle wird Prevot der Erfinder derselben genannt, wobei ich der angegebenen Autorität gefolgt bin, Lichtenberg im Gött. Taschenkalend. 1789. S. 129. nennt aber den P. Vertan, Propst zu Bürkli bei Basel, als solchen.

Digitized by Google

Theilungen bedingten erzeugt werden können. Dasselbe be-
steht aus einem dreikantigen, nach dem einen Ende hin ver-
Fig. jüngten Kasten aus drei dünnen Bretern, deren oberes der
82. Resonanzboden bildet. Am dünnern Ende befindet sich ein
kurzer Hals mit einem Wirbel L, um welchen eine ein-
zige Saite geschlungen ist, die über den Sattel E geht und
unten in der Mitte zwischen A B an einem kleinen Knopf
festsitzt. Bei F ruht sie auf einem dreikantigen Stege a b
welcher jedoch nicht mit der ganzen untern Fläche, sondern
nur mit der einen Kante aufsteht, wodurch die Saite einen
schnarrenden, trompetenartigen Ton erhält, der noch vermehrt
wird, wenn man unter den Steg ein Stück Elfenbein einlegt
oder das eine Ende b des Steges durch eine unter demselben
befindliche gespannte Saite etwas in die Höhe zieht, wodurch
die beim Streichen derselben entstehenden Bebungen verstärkt
werden. Zwischen E und K befinden sich Erhabenheiten, wie
bei den Zittern, die den Raum E F in aliquote Theile theilen
über denen man die Saite mit dem Finger drückt, doch nicht
so stark, dafs sie die Erhabenheit berührt, und also bei K
mit einem Bogen gestrichen in Schwingungen geräth, indem sich
die durch die berührten Stellen bedingten Schwingungsknoten
bilden. Dabei sind die Mengen der Schwingungen den zwischen
den Knoten befindlichen Saitenlängen umgekehrt proportional
und indem die ganze Saite jederzeit in aliquote Theile nach
ganzen Zahlen getheilt werden mufs, so übersieht man hier-
nach bald, dafs einige Töne unserer Tonleiter fehlen, andere
dagegen erzeugt werden, die nicht in derselben liegen. Hier-
nach giebt also

die ganze Länge = $\frac{1}{1}$ den Grundton
die halbe Länge = $\frac{1}{2}$ die Octave
der dritte Theil = $\frac{1}{3}$ den 12. Ton
der vierte Theil = $\frac{1}{4}$ den 15. Ton = die Doppeloctave
der fünfte Theil = $\frac{1}{5}$ den 17. Ton
der sechste Theil = $\frac{1}{6}$ den 19. Ton
d. siebente Theil = $\frac{1}{7}$ den 21. Ton[1]
der achte Theil = $\frac{1}{8}$ den 22. Ton = die dreifache Octave
der neunte Theil = $\frac{1}{9}$ den 23. Ton oder 2. der 3. Octave

---

1 Dieser ist tiefer als h und höher als b, fehlt also in der Ton-
leiter.

Digitized by Google

der zehnte Theil = $\frac{1}{10}$ den 24. Ton oder Tertie der 3. Octave
der eilfte Theil = $\frac{1}{11}$ den 25. — — Quarte — —
der zwölfte Theil = $\frac{1}{12}$ den 26. — — Quinte — —
d. dreizehnte Thl. = $\frac{1}{13}$ den 27. — — falsche Sexte der 3. Octave
d. vierzehnte Thl. = $\frac{1}{14}$ den 28. — — falsche Septime minor der 3. Octave
d. funfzehnte Thl. = $\frac{1}{15}$ den 28. — — Septime major der 3. Octave
d. sechzehnte Thl. = $\frac{1}{16}$ den 29. — — die vierte Octave.

Diese Uebersicht ist sehr belehrend, um einzusehn, dafs die Flageolet-Töne nicht nach der Reihenfolge durch das Niederdrücken der Saiten, wie die gewöhnlichen, erzeugt werden können und dafs die hohen Töne weit vollständiger zum Vorschein kommen, als die tieferen, unter denen die Octave der nächste, möglicher Weise erreichbare ist, denn die Töne werden höher, je näher am Sattel man die Saite berührt, nehmen dann an Höhe ab, bis zur Mitte zwischen EF, von da an aber wieder zu[1].

12) Die geometrische Construction derjenigen Curve, welche eine Saite bei ihren Schwingungen bildet, hat die gröfsten Geometer beschäftigt. Im Allgemeinen berührte schon Galilei dieses Problem, näher Huyghens und Newton, aber die erste Bearbeitung desselben, die noch jetzt Aufmerksamkeit verdient, ist von Brook Taylor[2], welcher die Sache theoretisch untersucht, aber sich so dunkel ausdrückt, dafs man neuerdings keinen Gebrauch mehr von seiner Arbeit macht. Wichtiger ist eine Abhandlung von Joh. Bernoulli[3], und L. Euler[4] hat die Aufgabe mehrmals zum Gegenstande

---

1 Als erster Entdecker der höhern Töne einer Saite wird Sauveur angesehn, nach dessen Angabe in Mém. de l'Acad. 1701. Aber nach Wallis (Wallisii Opera T. II. p. 466.) haben Noble und Pigot zu Oxford schon vor 1676 sie entdeckt, weswegen Sauveur der Ehre dieser Erfindung entsagte. S. Hawkins History of Music. T. III. p. 134. Matthew Young Enquiry into the principal phaenomena of sounds and musical strings. P. II. Sect. V. Chladni Akustik p. 69.

2 Methodus incrementorum directa et inversa. Lond. 1715. 4. Phil. Trans. 1713 bis 1726.

3 Comm. Petrop. T. III. S. 13.

4 Mém. de l'Acad. de Berlin 1748. p. 69. 1753. 1765. p. 307 u.

Digitized by Google

seiner Untersuchungen gewählt, gesteht aber selbst, dafs seine Behandlung des Problems über die [illegible]ungen ungleich dicker Saiten[1] blofs als eine Uebung[illegible]yse zu betrachten sey. Gleichzeitig beschäftigten sich [illegible]t Dan. Bernoulli[2], d'Alembert[3], Lagrange[4], Sauveur[5], Zanotti[6], Giordano Riccati[7] und Matthieu Young[8], später hat Monge[9] eine kurze und lichtvolle Darstellung des Problems gegeben, desgleichen J. F. W. Herschel[10], am vollständigsten und gründlichsten ist die ganze Aufgabe über die Schwingungen elastischer Körper behandelt worden durch Poisson[11]. Inzwischen gehört diese Untersuchung mehr in das Gebiet des höhern Calcüls, als dafs die Akustik Vortheil daraus ziehen sollte, obgleich die Gebrüder Weber[12] gezeigt haben, wie genau die Rechnungen L. Euler's mit ihren Erfahrungen übereinstimmen. Wichtiger dagegen ist es für die Lehre vom Schalle, das Verhältnifs zwischen der Beschaffenheit der Saiten und der Zeitdauer ihrer Schwingungen aufzufinden, worauf dann die Höhen der erzeugten Töne beruhn.

13) Wenn eine gleichmäfsig dicke Saite zwischen zwei festen Puncten gespannt ist und auf irgend eine Art in Schwingungen versetzt wird, die sie sich selbst überlassen zwischen den beiden festen Puncten fortsetzt, so erfolgen nach den für

---

335. Nov. Comm. Soc. Pet. XVII. p. 381. u. T. XIX. Acta Ac. Pet. 1779. P. II. 1780. T. IV. P. II. p. 99. 1781. p. 1. Mélanges de Philos. et de Math. de la Soc. de Turin. T. III.

1 Nov. Comm. Pet. T. IX. p. 246.

2 Acad. de Berlin 1753. u. 1765. p. 81. Nov. Comm. Soc. Pet. T. III. p. 62. T. XVI. p. 257.

3 Mém. de l'Ac. de Berlin 1747, 1750 u. 1768. Opusc. T. I. u. IV.

4 Mélanges cet. de la Soc. de Turin. T. I. II. u. III.

5 Mém. de l'Ac. 1713. p. 321.

6 Comm. Bonon. T. IV.

7 Delle corde ovvero fibre elastiche. Bologna 1767. 4.

8 Enquiry into the principal phaenomena of sounds and musical strings. Dubl. 1784. 8.

9 Application de l'Analyse à la Géométrie. Par. 1809. 4. p. 415. Vergl. Journ. de l'École polyt. C. XV. p. 118.

10 Encyclop. metrop. Art. Sound.

11 Mém. de l'Acad. de l'Institut de France. T. VIII. p. 357.

12 Wellenlehre. 8. 449.

pendelartig schwingende Körper bereits aufgefundenen Gesetzen die Oscillationen in gleichen Zeiten, wenigstens so weit, dafs kein merklicher Unterschied dabei wahrnehmbar ist, mögen sie so grofs seyn, dafs sie dem Auge sichtbar werden, oder so klein, dafs die Saite zu ruhen scheint. Ist dann das Gewicht der Saite = p, die sie spannende Kraft = P, ihre Länge = L, die Zeit einer Oscillation in Sexagesimalsecunden = t und die Fallhöhe in einer Secunde im leeren Raume = g, so ist

$$t = \sqrt{\frac{L}{2g} \times \frac{p}{P}}.$$

Für eine runde Saite vom Halbmesser = r ist das Volumen $= r^2 \pi L$, wenn π die Ludolph'sche Zahl bezeichnet, und also bei einem specifischen Gewichte = w ist $p = r^2 \pi w L$, welches substituirt

$$t = r L \sqrt{\frac{\pi w}{2g P}},$$

giebt. Heifst ferner N die Anzahl Schwingungen, welche eine Saite in der Zeit T macht, so ist

$$T = N r L \sqrt{\frac{\pi w}{2g P}}, \text{ also } N = \frac{T}{rL} \sqrt{\frac{2g P}{\pi w}}$$

und für T = 1 Secunde

$$N = \frac{1}{rL} \sqrt{\frac{2g P}{\pi w}}.$$

Hieraus folgt, dafs für gleich dicke und gleich gespannte Saiten von der nämlichen Substanz die Mengen ihrer Schwingungen den Längen umgekehrt und den Quadratwurzeln aus den spannenden Kräften direct proportional sind[1].

---

1 W. Weber erwähnt Doppeltöne der Saiten oder dafs die Saiten unrein genannt werden. Mir ist hiervon nichts weiter bekannt, als dafs sehr lange und dicke Metallsaiten der Forte-Piano's zuweilen aufser dem Haupttone noch einen höhern Ton schwach hören lassen, was von secundären Schwingungen einzelner Abtheilungen herzurühren scheint. Aufserdem sind die Saiten der Bogeninstrumente oft falsch, d. h. sie geben andere und schlechtere Töne an, als sie sollten, was eine Folge ihrer ungleichen Dicke und Beschaffenheit in ihren einzelnen Abtheilungen ist. S. Poggendorff's Ann. XXVIII. 8.

Um den Einfluſs der Saitenlängen auf die Schwingungsmengen zu versuchen, setzt man unter die auf einem Monochorde vermittelst eines unveränderten Gewichtes gespannte Saite einen Steg und bringt die hierdurch gebildeten ungleichen Längen zum Tönen. Heiſst dann der Ton, welchen die ganze Saite giebt, der Grundton, wird der Steg unter die Mitte derselben gestellt und jede der beiden Hälften zum Tönen gebracht, so giebt jede einen höhern Ton, welchen man die Octave nennt. Hieraus ergiebt sich, daſs der Octave, die zum Grundtone im einfachsten Verhältnisse steht und daher am leichtesten unterschieden wird, die doppelte Anzahl von Schwingungen zugehört. Wird die Hälfte der Saite abermals halbirt, so erhält man die Doppeloctave, und so fort durch weiteres Halbiren, so daſs sich also die weitere Untersuchung bloſs auf die in einer Octave zwischenliegenden Töne und deren Verhältniſs beziehen kann, wie dieses später gezeigt werden wird. Auf gleiche Weise läſst sich der Einfluſs des Gewichts, wie ihn die Formel ausdrückt, nachweisen. Ist z. B. das spannende Gewicht $= P$ und man verwandelt dieses in $4P$, so erhält man die Octave u. s. w.

14) Auſser den eben betrachteten transversalen Schwingungen gespannter Saiten geben dieselben auch *longitudinale*. Diese entstehn dadurch, daſs ein Theilchen einen Druck gegen das berührende ausübt, welcher sich dann jedem folgenden mittheilt, wonach die Compressionen und Expansionen vom einen Schwingungsknoten bis zum andern fortlaufen, dann umkehren, und so im steten Wechsel zwischen beiden Schwingungsknoten. Auch hierbei können die Wellen in der ganzen Länge der Saite so statt finden, daſs sie zuerst von B nach A laufen, dann bei A umkehren und nach B gelangen; es kann jedoch auch hierbei, wie bei den Transversalschwingungen, eine Abtheilung der Saite in mehrere gleiche Theile durch eine gewisse Anzahl $= n$ Schwingungsknoten, die gleichfalls $n + 1$ Theile der Saite geben, statt finden, wobei es zur Versinnlichung genügt, $n = 1$ zu setzen. In diesem Falle, wenn die Saite in N einen neuen Schwingungsknoten erhält, läuft die Welle von B nach N, kehrt dann um von N nach B; gleichzeitig setzt aber die Welle ihre Bewegung von N nach A fort und kehrt in diesem Puncte um, wenn sie in B zum zweiten Male beginnt, so daſs also die Richtungen so zu-

Fig. 33.

Fig. 34.

Digitized by Google

zusammenfallen, wie die Pfeile in der Figur andeuten. In der Wirklichkeit bringt man solche Schwingungen hervor, indem man die Saite unter einem sehr spitzen Winkel mit einem Bogen streicht, besser aber, wenn man sie mit etwas wollenem Zeuge, den Fingern, oder am besten mit Leder, worauf etwas Colophoniumpulver gestreut und eingerieben ist, der Länge nach streicht und schnell ihren Schwingungen frei überläfst. Das Streichen mufs nahe in der Mitte geschehn, wenn sie ganz schwingen soll, will man aber mehrere Schwingungsknoten erzeugen, so mufs man sie an den Stellen, wo diese entstehn sollen, leise mit dem Finger oder mit einem weichen Körper berühren. Die auf diese Weise erzeugten Töne sind nicht angenehm und werden daher nicht praktisch gebraucht, aufserdem aber sind sie ungleich höher, als die durch Transversalschwingungen der nämlichen Saiten erzeugten. Sie stimmen mit den letztern darin überein, dafs ihre Höhe den Saitenlängen umgekehrt proportional ist, dagegen aber kommt die Dicke und Spannung der Saiten weit weniger in Betrachtung, als die Substanz, woraus sie bestehn. So ist unter andern bei gleicher Länge und Spannung der Ton einer Messingsaite ungefähr eine Sexte höher, als einer Darmsaite, und einer Stahlsaite ungefähr eine Quinte höher, als einer Messingsaite, wovon der Grund ohne Zweifel in der gleichzeitig mitwirkenden eigenen Steifheit derselben liegt. Versuche lassen sich nicht füglich anders als mit sehr langen Saiten anstellen, wie denn Chladni zu den seinigen eine von 48 rheinl. Fufs Länge anwandte, die im Ganzen schwingend ungefähr den Ton einer 8 Fufs langen Orgelpfeife oder das grofse B gab[1].

b) Schwingende Stäbe.

15) Runde oder kantige Stäbe von verhältnifsmäfsig beträchtlicher Länge gegen ihre Dicke, die durch eigene Steifheit elastisch sind, schwingen auf ganz gleiche Weise, als gespannte Saiten, insofern ihre natürliche Steifheit die Span-

---

1. Chladni Akustik S. 77. erwähnt, dafs Riccati a. a. O. von longitudinalen Schwingungen der Saiten rede, ohne Zweifel aber ist er selbst der erste, welcher dieses Problem bearbeitet hat. S. dessen Entdeckungen über die Theorie des Klanges. S. 76. Berlin. musik. Monatschr. 1792. Aug.

Digitized by Google

nung ersetzt, die den letzteren künstlich gegeben werden muss. Sie können daher gleichfalls an beiden Enden, aber auch blos an einem oder an jeder beliebigen Stelle fest eingeklemmt seyn, man kann sie ferner auflegen und auch leise berühren, um die Transversalschwingungen bei ihnen auf ähnliche Weise zu bedingen und zu modificiren, als dieses bei Saiten geschieht. Die Figur zeigt in a, b und c einige der verschiedenen Schwingungsarten eines an einem Ende befestigten, nicht berührten und berührten, und eines aufliegenden Stabes. In der Anwendung findet man solche bei den Stahlstäben der in der Schweiz häufig verfertigten kleineren und gröfseren Spieluhren und der sogenannten *Eisenfidline*, die aus stählernen, in den halbkreisförmigen Steg eines Resonanzbodens eingeschlagenen und mit einem Violinbogen gestrichenen Stäben besteht. Aufliegende Stäbe oder schmale Streifen von Glas, Stahl oder Holz, die an beiden Seiten ungefähr im vierten Theile ihrer Länge auf Strohseilen oder sonstigen weichen Unterlagen ruhen, und mit kleinen Klöppeln geschlagen werden, geben die *Strohfiddel* oder ein solches Instrument, wie es in der Zauberflöte von Papageno gespielt wird. Nach Chladni hat Hauch in Stuttgart ein solches mit Tasten eingerichtet, auch soll das *clavecin à cordes de verre* von Bexer in Paris und das *Glasschörd* der Engländer von dieser Beschaffenheit seyn. Uebrigens benutzt man eine im Schraubstocke festgeklemmte Uhrfeder, oder eine sonstige Lamelle, um durch Streichen mit einem Violinbogen einen Ton hervorzubringen und hierdurch die demselben zugehörigen Schwingungsmengen zu zählen.

Fig. 85.

Die geometrische Untersuchung der genannten Schwingungen haben Daniel Bernoulli[1], L. Euler[2] zuerst unvollständig und nicht ganz richtig, nachher aber völlig befriedigend, Giordano Riccati[3] und neuerdings noch vollständi-

1 Comment. Petrop. T. XIII.

2 Methodus inveniendi curvas maximi minimique proprietate gaudentes. Add. I. p. 282. Acta Ac. Pet. 1779. T. III. p. 103.

3 Mem. di Mat. e Fis. della Soc. Ital. T. I. p. 444. Die Einwürfe, welche Pansner in: Investigatio motuum et sonorum, quibus laminae elasticae contremiscunt. Jen. 1801. 4. gegen die genannten Demonstrationen vorgebracht hat, erklärt Chladni für unrichtig.

Digitized by Google

ge Poisson[1] mitgetheilt, Hansemel und Biot aber haben blofs die einfachen, durch Chladni[2] aufgefundenen, mit der Erfahrung übereinstimmenden Resultate aufgenommen, die sich auf die unter gegebenen Bedingungen statt findenden Schwingungsmengen in einer Secunde beziehn. Heifst diese bei Stäben oder andern diesen an Gestalt ähnlichen, transversal schwingenden Körpern N, die Dicke des Stabes D, die Länge L, die Steifheit oder Rigidität der Masse ϱ, das spec. Gewicht derselben oder ihre Dichtigkeit δ, der Fallraum in einer Secunde g und eine constante Zahl der Schwingungen n, so ist

$$N = \frac{n^2 D}{L^2} \sqrt{\frac{g\,\varrho}{\delta}}.$$

Bei Stäben aus der nämlichen Materie ist also $N = \frac{D}{L^2}$, d.h. die Höhe der Töne ist der Dicke der Stäbe direct und dem Quadrate ihrer Länge umgekehrt proportional[3]. Bei der nämlichen Schwingungsart und unter übrigens gleichen Bedingungen findet man hiernach die Rigidität der verschiedenen Körper $\varrho = \frac{N^2 L^4 \delta}{D^2}$. Chladni hat ferner theoretisch untersucht und durch Erfahrung geprüft, welche Töne bei gleichen Stäben, aber veränderten Schwingungsknoten entstehn müssen, und diese in Tabellen zusammengestellt; es scheint mir jedoch überflüssig, diese hier mitzutheilen. Dagegen füge ich noch die Bemerkung hinzu, dafs schwingende Stäbe, z. B. Stimmgabeln, im Anfange einen etwas tieferen Ton geben, als spä-

---

1 Mém. de l'Acad. Instit. de France. T. VIII. p. 442.

2 Akustik. p. 101.

3 Chladni findet hiernach die bekannte Erzählung, dafs Pythagoras die Töne der drei Hämmer in der Schmiede ihren Gewichten proportional gefunden habe, die sich bei Nicomachus Gerasenus in Enchiridium harmonices p. 10. ed. Meibom., bei Jamblichus in Vita Pythag. cap. 26., bei Nicomachus Arithm. Introd. p. 171., bei Gaudentius in Isagoge harmonica p. 13. ed. Meibom., bei Macrobius in Somn. Scip. L. II. cap. 1. und Boetius de Musica cap. 10. findet, falsch, ebenso wie die noch leichter als unrichtig zu erweisende Angabe, dafs ebenderselbe bei gleich langen und nach übrigens gleichen Saiten die Tonhöhen den angehängten Gewichten proportional gefunden habe, da sie vielmehr den Quadratwurzeln derselben proportional sind, wie oben gezeigt worden ist. Vgl. Forkel Geschichte der Musik. Th. 1. S. 320.

Digitized by Google

ter[1]. Die Ursache hiervon liegt wohl ohne Zweifel in der anfänglich längeren Excursionen der schwingenden Stäbe, die in dieser Hinsicht den in Kreisbogen schwingenden Pendeln gleichen, deren Schwingungen gleichfalls eine längere Zeit erfordern, wenn die Elongationswinkel gröfser sind[2].

16) Elastische Stäbe werden auf gleiche Weise, als gespannte Saiten, zur Erzeugung *longitudinaler* Schwingungen gebraucht, die bei beiden dem Wesen nach identisch sind, indem sich bei beiden die Schwingungsknoten nebst den zwischen diesen hin- und zurücklaufenden Wellen deutlich nachweisen lassen, mit dem einzigen Unterschiede, dafs die ersten blofs an einem Ende fest eingespannt werden können, was bei den letztern der Natur der Sache nach unmöglich ist. Aufserdem kann man die Stäbe an beiden Enden, in der Mitte oder an einer oder mehreren Stellen festhalten, um daselbst Schwingungsknoten zu erzeugen. Die Körper, die sich hierzu eignen sollen, müssen einen gewissen Grad der Elasticität haben, und es wird der erzeugte Ton allezeit um so viel klingender seyn, je mehr diese Eigenschaft vorherrscht, wiewohl es Chladni gelungen ist, selbst Zinn und Fischbein dazu zu verwenden. Die Stäbe erfordern eine möglichst gleichmäfsige nicht zu grofse Dicke, eine sehr glatte Oberfläche; zum Reiben derselben nimmt man bei Glas ein benetztes und mit etwas Bimssteinpulver bestreutes wollenes Läppchen, bei Metall oder Holz aber einen Streifen wollenes Zeug oder Leder beide trocken und mit Colophoniumpulver bestreut. Am leichtesten gelingen die Versuche mit 4 bis 8 Fufs langen Barometer- oder Thermometerröhren, die man bei einiger Uebung in der Mitte mit den Fingern der einen Hand festhält und an dem einen freien Ende der Länge nach reibt, wobei es dann nicht schwierig ist, durch Festhalten derselben ungefähr im vierten oder achten Theile ihrer Länge und gehöriges Reiben an einer schwingenden Stelle die Octave und

---

1 Vergl. W. Weber in Poggendorff's Ann. XIV. 307. Bei guten Stimmgabeln mit parallelen Schenkeln findet dieses nach Schubler nicht statt.

2 Strehlke hat interessante Untersuchungen über die Lage der Schwingungsknoten elastischer transversal schwingender Stäbe angestellt, deren Mittheilung jedoch hier zu viel Raum erfordern würde S. Poggendorff's Ann. XXVII. 505. XXVIII. 512.

Digitized by Google

Doppeloctave des zuerst erhaltenen Tones, und selbst auch durch anderes Abtheilen in aliquote Theile Töne zu erhalten, die zwischen diesen Octaven liegen.

Neuerdings ist die Menge der hierüber bekannten Thatsachen durch W. Weber [1] um einige sehr interessante und belehrende Erscheinungen bereichert worden. Die Longitudinalschwingungen der Stäbe lassen sich nämlich leicht sichtbar machen, wenn man Scheiben, runde oder eckige, aus gemeinem oder Karten-Papier schneidet, sie in der Mitte durchbohrt und eng anschliefsend auf die Glasröhre steckt; hält man demnächst diese letztere in der Mitte fest, während durch Reiben am einen Ende ein Ton erzeugt wird, so schiebt sich die Scheibe, wenn auch ziemlich fest anschliefsend, allmälig bis in die Nähe der haltenden Finger fort. Noch interessanter, aber auch schwieriger ist ein durch Weber angegebener Versuch. Dieser nahm 4 bis 6 Fufs lange, 3 bis 6 Lin. weite Glasröhren, steckte in das untere Ende einen genauen passenden, an der Grenze der Röhre abgeschnittenen Glasstöpsel, hielt die in ihrer Mitte angefafste Röhre lothrecht und rieb das obere Ende mit einem nassen wollenen Läppchen. Sofort beim Entstehn des Längentones stieg der Glasstöpsel in die Höhe, bis in die Nähe des durch die berührenden Finger erzeugten Schwingungsknotens, und übte dabei eine solche Gewalt aus, dafs er zugleich eine darüberstehende, mehrere Fufs hohe Wassersäule hob. Als die Röhre voll Wasser gegossen und oben mit einem Glasstöpsel verschlossen war, war die durch die Longitudinalschwingungen erzeugte Gewalt so grofs, dafs das Wasser oben in feinen Strahlen herausspritzte. War die Röhre mit Wasser gefüllt, so gelangte der Stöpsel nicht bis zum Schwingungsknoten.

Die angegebenen Versuche sind sehr geeignet, das eigentliche Wesen der Longitudinalschwingungen aufzuklären, was insofern wichtig ist, als die nachher zu untersuchenden Schwingungen der Luftsäulen gleichfalls unter diese Classe gehören. Wenn man einen elastischen Stab aus seiner geraden Richtung biegt, so müssen die einander parallel laufenden gekrümmten Flächen, die convexe und die concave, nothwendig eine Zusammenziehung oder eine Ausdehnung oder wahr-

1 Schweigg. Journ. LIII. 308.

Digitized by Google

scheinlich gleichzeitig beides abwechselnd erleiden, indem si beim Zurückschnellen jedesmal in den entgegengesetzten Zustand übergehn. Hieraus ergiebt sich, dafs bei elastischen Körpern eine gröfsere Näherung und Entfernung der Molecülen sehr häufig vorkomme, die wir sonach als die Ursache de durch transversale sowohl als auch durch longitudinale Schwingungen erzeugten Töne zu betrachten haben, indem sich beid dem Wesen nach nur dadurch von einander unterscheiden, daf die Contractionen und Expansionen bei den erstern in der Regel gleichzeitig in der ganzen Länge zwischen zwei Schwingungsknoten statt finden, bei den letztern aber vom einen derselbet bis zum andern abwechselnd hin- und zurücklaufen. Das wirkliche Vorhandenseyn solcher Verdichtungen und Verdünnungen wird später bei schwingenden Scheiben thatsächlich nachgewiesen werden. Die einzige Schwierigkeit, welche sich hierbei einer genauen Vorstellung des eigentlichen Vorganges entgegenstellt, entsteht aus der Bildung der Schwingungsknoten. Sehr leicht begreiflich ist die Entstehung derselben bei den Transversalschwingungen, wenn man sich z. B. denkt, dafs der in a und β ruhende Stab am einen Ende A seitwärts gebogen wird, dann diese Beugung über a hinaus fortsetzt, so dafs sie in der Mitte zwischen α und β ihr Maximum erreicht, in β wieder zur Ruhe übergeht und jenseit β in entgegengesetzter Richtung fortläuft; desto schwerer begreiflich dagegen ist das Fortlaufen der Verdichtungen und Verdünnungen bis zum Schwingungsknoten und das von hier aus, ungeachtet des statt findenden Ruhens, gleichzeitig erfolgende weitere Fortlaufen und Rückgehn derselben nach entgegengesetzten Seiten vom Schwingungsknoten aus. Eine genügende Erklärung dieses Verhaltens vermag ich nicht zu geben, indefs läfst sich die Sache durch ähnliche Erscheinungen mindestens etwas aufklären. Die Verdünnungen und Verdichtungen, die zum Wesen der Longitudinalschwingungen gehören, finden zwar bei allen Molecülen des tönenden Körpers statt, aber keineswegs bei allen auf gleiche Weise, indem vielmehr, wie die einzelnen Partikeln des Wassers bei den Wellen eigenthümliche Bewegungen annehmen, auch die einzelnen Theile des tönenden Stabes in verschiedenartige, zu einzelnen Gruppen gehörige Contractionen und Expansionen versetzt werden, von denen die zu einer durch die vorhandenen Ursachen bedingten Gruppe

Fig. 85c.

gehörigen Schwingungen den Ton erzeugen, ohne dadurch das Fortschreiten der Wellen durch die den Schwingungsknoten bildende Masse zu hindern. Als entfernt ähnlich darf man sich nur Folgendes vorstellen. Wenn im Wasser mit den Wellen parallel eine noch unter den tiefsten Punct der Wellen herabgehende Breterwand befestigt wäre, so würden sich an dieser allerdings die Wasserwellen brechen, aber dennoch jenseit derselben fortgehn. Auf gleiche Weise pflanzt sich der Stofs durch eine Reihe elastischer, sich gegenseitig genau berührender Kugeln fort, selbst wenn man irgend eine derselben festhält.

17) Für diese Ansicht läfst sich ein gewisses eigenthümliches Verhalten elastischer Stäbe bei transversalen Schwingungen anführen. Wenn man nämlich eine etliche Fufs lange, etwas dicke Thermometerröhre am einen Ende zwischen den Fingern oder an einem Faden gebunden herabhängen läfst und sie mit einem Stabe schlägt, so sieht das Auge langsamere Transversalschwingungen und das Ohr, dicht an die Röhre gehalten, hört leise Töne, die zu tief sind, um durch longitudinale Schwingungen erzeugt zu seyn, aber höher, als die sichtbaren transversalen geben könnten. Die durch letztere erzeugten Töne werden wahrgenommen, wenn man den Faden, woran die Röhre hängt, mit den Fingern zur unmittelbaren Berührung der Gehörwerkzeuge bringt, wobei nicht selten auch die höheren mittönen. Es ergiebt sich also hieraus noch deutlicher, als aus den Erscheinungen der Aeolsharfe, dafs verschiedene Töne, durch ungleich schnelle transversale Vibrationen erzeugt, gleichzeitig statt finden können, und dafs es neben denen, die einen Ton hervorbringen, auch solche giebt, welche wegen ihrer Schwäche nicht auf das Gehör wirken.

Ungleich wichtiger in dieser Beziehung sind diejenigen Erscheinungen, welche SAVART[1] an Glasröhren und elastischen Blechen wahrgenommen hat, von denen ich hier blofs diejenigen mittheilen will, die sich bei der Anwendung der Glasröhren zeigen, indem die andern mehr dem Verhalten der

1 Ann. Chim. et Phys. T. XXIV. p. 56. T. XXV. p. 12. 138. 225.

Scheiben beizuzählen sind. Die Gebrüder Weber[1] haben die Versuche wiederholt, und wo die Resultate von denen ihres Vorgängers abweichen, habe ich die ihrigen durch eigene Experimente bestätigt gefunden. Sie wandten hierzu acht 6 F. und darüber lange 8½ bis 2½ Lin. Durchmesser haltende Röhren an, die sie in mehrere kürzere zerschnitten und an einem mehrmals zusammengelegten, an der inneren Seite mit einer klebenden Substanz bestrichenen Tuchstreifen festhielten, indem sie diesen herumlegten und die Enden zwischen einen Feilkloben festklemmten. Im Innern der Röhre wird (gefärbter) trockener Sand möglichst gleichmäfsig vertheilt, die Röhre in horizontaler Lage gehalten und auf die angegebene Weise durch Reiben des einen Endes mit einem nassen, durch etwas aufgestreutes Bimsteinpulver rauher gemachten, wollenen Läppchen in longitudinale Schwingungen versetzt. Während des Reibens hüpfen die einzelnen Sandkörner und nehmen eine Bewegung in der Richtung der Längenaxe der Röhre an, indem sie an verschiedenen Stellen nach beiden Seiten hin fortgleiten und an andern zwischen diesen liegenden aufgehäuft werden. Der Sand bildet daselbst 0,5 bis 2 Zoll lange[2], oval oder gewöhnlicher spitz auslaufende Häufchen, fünf bis neun zugleich, die in Beziehung auf die Mitte und Enden nicht allezeit symmetrisch geordnet sind, und nicht verdoppelt werden, wenn man die Röhre, statt in der Mitte, im vierten Theile ihrer Länge festhält und also einen höhern Ton als den frühern erzeugt; im Ganzen tönt aber die den Sand enthaltende Röhre minder leicht, als ohne diesen. Wenn man die Röhre so dreht, dafs die vorher nach oben gerichtete Fläche nach unten kommt, den Sand abermals darin vertheilt und wieder reibt, so bilden sich auf gleiche Weise die Häufchen, jedoch an andern Stellen, als vorher, wie man wahrnimmt, wenn man die ersten mit etwas Oelfarbe bezeichnet. Man kann auf diese Weise die Röhre allmälig ganz um ihre Axe drehen und erhält dann durch das Fortrücken der Sandhäuf-

1 Wellenlehre S. 555. Vergl. Schweigg. Journ. Bd. XLIV. S. 585. XLV. S. 257.

2 Mit einer 9,5 Fufs langen, 2,75 Lin. weiten Glasröhre und etwas vielem eingebrachten schwärzbraunen feinen Sande erhielt ich selbst 8 bis 8,5 Zoll lange Häufchen.

Digitized by Google

chen eine eigenthümliche, schraubenförmig gewundene, aus kurzen, fast quer um die Röhre sich beugenden Stücken ab, cd, ef, gh, und aus längeren, fast geraden bestehende Linie. Die erstern liegen in ziemlich gleich grofsen Abständen, die sich abwechselnd auf entgegengesetzten Seiten der Röhre befinden, und der Sand bildet auf ihnen stumpf endende, auf den letztern aber lang gestreckte Häufchen. Bei kurzen und weiten Röhren zeigen sich die Windungen absatzweise, bei langen und engen mehr schraubenförmig. Der Grund dieser eigenthümlichen, und bei verschiedenen Röhren ungleichen Anordnung der genannten Linien ist noch nicht aufgefunden. Fig. 36.

Bei einem ganz einfach und ohne besondere Aufmerksamkeit angestellten Versuche bemerkt man sehr auffallend und leicht das schnelle Hüpfen, sowie das Hin- und Herlaufen des Sandes. Genauere Beobachtungen aber zeigen bei einigen, besonders denen der Mitte nahe liegenden Sandhäufchen ein Umlaufen der einzelnen Sandkörnchen in einer elliptischen Bahn, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist; dafs aber die Bewegungen der Sandkörnchen zu beiden Seiten der festgehaltenen Mitte einander entgegengesetzt gerichtet seyn sollten, wie Savart beobachtete, haben die Gebrüder Weber nicht bestätigt gefunden, indem es blofs dann statt findet, wenn von der Mitte der Röhre aus zwei entgegengesetzt gewundene Schraubenlinien ausgehn, was ersterer gleichfalls als Regel, letztere aber nur als Ausnahme betrachten. Nach letzteren bilden überhaupt die Stellen, an denen sich der Sand aufhäuft, nur bei langen und engen Röhren solche schraubenförmige, einander parallel laufende Linien, bei kurzen und weiteren dagegen regelmäfsig wechselnde, auf der Axe fast rechtwinklige Linien, deren eine Hälfte zerstreuend, die andere sammelnd wirkt. Die Sandkörnchen, die sich auf den sammelnden Stellen befinden, ändern ihren Ort nicht, auf den zerstreuenden aber theilen sie sich in zwei Hälften, wie die Richtung der Pfeilspitzen andeutet, und wandern nach entgegengesetzten Seiten, diejenigen, die zwischen diesen beiden genannten Stellen liegen, wandern nach der ihnen zunächst liegenden sammelnden Stelle hin. Der ganze Vorgang, wie er sich bei zwei Röhren von fast 3 F. Länge, 8¼ L. Durchmesser und 7¼ L. Weite zeigte, und welchen Weber für die normale Erscheinung hält, statt dafs die Bildung der Schrau- Fig. 37. Fig. 38.

benlinien eine Abnormität seyn soll, ist folgender. Liegt ein Sandhäufchen in A, und wird die Röhre allmälig gedreht, bis es nach a gelangt, so befindet es sich auf der zerstreuenden Linie, die zur Unterscheidung punctirt ist, weil sie sich auf der abgewandten Seite der Röhre befindet. Hier theilt es sich sogleich in zwei Hälften, deren eine nach x hin wandert und aus der Röhre fällt, die andere aber nach b zur zweiten sammelnden Linie B, wo sie ruht und bei fortwährendem Reiben der Röhre und Drehen derselben den Ort nicht ändert, so lange sie auf dieser sammelnden Linie bleibt, bis sie an die Grenze a kommt. An dieser Stelle, dem Anfange der zerstreuenden Linie, theilt sich das Häufchen abermals in zwei Hälften, wovon die eine nach dem Ende b der Linie A wandert und, wenn die Röhre in der früheren Richtung gedreht wird, von b nach a, womit der Kreislauf vollendet ist; die zweite Hälfte geht nach b der sammelnden Linie C, von hier bei fortgesetzter Drehung der Röhre nach a dieser nämlichen Linie, trennt sich hier wieder in zwei Hälften, wovon die eine nach b der sammelnden Linie B rückwärts, die andere nach b der sammelnden Linie D wandert und so fort, wie es aus dem bisher Gesagten von selbst folgt. Diese Schwingungen, denen ähnliche sich auch bei Glasstreifen zeigen, sind nach Wenzel's richtiger Bemerkung keineswegs die den Ton erzeugenden, welcher zwar hoch ist, aber für solche Längen viel zu tief, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man lange Röhren zuerst in der Mitte, dann ungefähr im 4ten Theile ihrer Länge hält, hierdurch einen höhern Ton erzeugt und gleichzeitig die Lage der Sandhäufchen beobachtet. Die Schwingungen sind also von einer höhern Ordnung, die den Ton zwar bedingen, aber nicht erzeugen, denen ähnliche sich auch bei andern gläsernen Körpern leicht nachweisen lassen[1].

Fig. 89.

18) Die Lage und Zahl der Schwingungsknoten solcher tönender Stäbe hängt ab von den Stellen, wo sie gehalten

---

1 Man kann bei der Erzeugung der Figuren durch longitudinale Schwingungen in Glasröhren auch Lycopodiensamen anwenden, und erhält dann ähnliche interessante Resultate, als diejenigen, die Faraday bei den transversalen Schwingungen elastischer Scheiben untersucht hat §. 32. Es scheint mir indefs nicht nothwendig, diese so leicht darstellbaren Erscheinungen ausführlicher anzugeben.

Digitized by Google

und wo sie berührt werden. Sind sie ganz frei, so erhalten sie in der Mitte einen Schwingungsknoten, und der Ton ist also gleich hoch, wenn man den Stab durch sein Gewicht zwischen dem reibenden Läppchen herabgleiten läfst, welches jedoch nicht ohne grofse Schwierigkeiten geschieht, oder wenn man ihn in der Mitte hält. Wird derselbe aber ungefähr im vierten Theile seiner Länge gehalten und am besten in der Mitte oder nahe am andern Ende gerieben, so giebt er die Octave und hat zwei Schwingungsknoten, deren man drei hervorbringen kann, wenn man ihn ungefähr am sechsten Theile seiner Länge läfst. Diese Töne stehen also im Verhältnisse 1, 2, 3, 4 oder 2, 4, 6, 8. Ist der Stab am einen Ende unbeweglich befestigt und wird er in nicht grofser Entfernung vom andern Ende gestrichen, so erhält man einen Ton, welcher um eine Octave tiefer ist, als wenn man ihn in der Mitte hält, woraus also hervorgeht, dafs er dann nur an beiden Enden Schwingungsknoten hat. Auch bei einem so befestigten Stabe lassen sich durch Berührung noch andere Schwingungsknoten erzeugen, so dafs man eine Reihe von Tönen erhält, deren Reihenfolge durch die Zahlen 1, 3, 5, 7 bezeichnet werden kann und zwischen denen also gleichfalls die eben genannten 2, 4, 6, 8 liegen. Wird der Stab an beiden Enden zwischen Schraubstöcke festgeklemmt, so erhält er zunächst, aufser an beiden Enden keinen Schwingungsknoten, er kann jedoch auch noch einen in der Mitte oder auch zwei, jeden im dritten Theile seiner Länge, erhalten[1].

Nach Chladni's Versuchen ist die Dicke und Spannung der Saiten und Stäbe von gar keinem Einflusse auf die Tonhöhe, sondern letztere wird blofs durch die Länge und durch die Beschaffenheit der Materie bedingt, woraus die Stäbe betreffend. Rücksichtlich der Saiten, bei denen eine stärkere künstliche Spannung statt finden kann, die bei Stäben nicht wohl möglich ist, haben die Gebrüder Weber[2] diese Behauptung geprüft, und gefunden, dafs allerdings die Spannung eine Erhöhung des Tones bewirkt, ohne dafs jedoch ein regelmäfsiges Verhältnifs zwischen beiden statt findet, indem eine Ver-

1 Chladni über longitudinale Schwingungen der Stäbe. Erfurt 1816. Akustik S. 104.

2 Wellenlehre S. 558.

mehrung des spannenden Gewichtes auf das Zweifache eine Erhöhung des Tones zur kleinen Quarte erzeugte, die bei einer Vermehrung bis zum Fünffachen um nicht mehr als eine grofse Secunde wuchs; Chladni hat daher vermuthlich die Spannung der bereits stark gespannten Saiten vermehrt und die dadurch bewirkte geringe Erhöhung des Tones nicht beachtet. Bei der Untersuchung der Tonhöhen longitudinal schwingender Stäbe kommt aber das Gesetz sehr in Betrachtung, welches Chladni aufgefunden und La Place nachher in Beziehung auf die Fortpflanzung des Schalles aus theoretischen Gründen bestätigt hat, nämlich dafs die Longitudinalwelle die gegebene Länge eines Stabes in der nämlichen Zeit durchläuft, in welcher derselbe einmal hin und her schwingt. Hierbei kommt dann noch die Analogie in Betrachtung, welche zwischen den Longitudinalschwingungen der tönenden Luftsäulen und der Stäbe statt findet, indem bei beiden die Longitudinalschwingung für eine gegebene Länge gerade so viel Zeit erfordert, als diejenige beträgt, in welcher der Schall durch dieselbe fortgeleitet wird. Ist hiernach also die Tonhöhe bekannt, welche die Luftsäule und ein gegebener Stab, beide von gleicher Länge, durch Longitudinalschwingungen geben, so läfst sich hiernach das Verhältnifs der Geschwindigkeiten in beiden durch Vergleichung beider Tonhöhen auffinden, wie dieses durch Biot[1] mit Benutzung der Chladni'schen Versuche geschehn ist. Heifst diesemnach bei der Luft die Zeit T, die Länge der Welle α und die Geschwindigkeit a, und werden die nämlichen accentuirten Bezeichnungen für einen Stab gebraucht, so ist

$$\alpha = a\,T \text{ und } \alpha' = a'\,T'.$$

Sowohl die Luftsäule in einer offenen Pfeife, als auch ein an beiden Enden freier Stab haben in ihrer Mitte einen Schwingungsknoten, wonach also bei ihnen die von der Longitudinalwelle durchlaufene Länge gegeben ist. Heifst diese L', so ist

$$L' = a'\,T' \text{ und also } a' = \frac{L'}{T'},$$

und wenn die Longitudinalwelle in der Luft für eine gleiche Länge die Zeit T bedürfte, so wäre

1 Traité de Physique cet. T. II. p. 85.

Digitized by Google

$$L' = a\,T \text{ und diesemnach } a' = a\,\frac{T}{T'}.$$

Ist ferner die Anzahl der Schwingungen, die den erhaltenen Tönen zukommt, anderweitig bekannt, und nennt man diese bei der Luftsäule N, bei einem Stabe N', so ergiebt sich

$$a' = a\,\frac{N'}{N}.$$

Die von Chladni gebrauchten Stäbe hatten die Länge von zwei rheinländischen Fufsen, und da eine Pfeife von dieser Länge, wenn sie an beiden Enden offen ist und demnach in der Mitte einen Schwingungsknoten, wie die schwingenden Stäbe, erhält, einen Ton giebt, welcher in der Tonleiter eingestrichen c ($\bar{c}$) heifst, so ist der Werth von N hierdurch gegeben[1] und man hat also

$$\frac{a'}{a} = \frac{N'}{\bar{c}} \text{ und folglich } a' = a\,\frac{N'}{\bar{c}},$$

wodurch das Verhältnifs der Geschwindigkeit der Schallwellen in der Luftsäule zu der im Stabe und die absolute Gröfse der letzteren gegeben ist. Hiernach erhielt Chladni mit seinen gleich langen, aus verschiedenen Substanzen verfertigten Stäben folgende Gröfsen:

1 Vergl. §. 95.

Substanzen	Erhaltene Töne	Einfache Geschwindigkeit
Fischbein ungefähr	dreigestrichen a	$6\frac{1}{3}$
Englisches Zinn —	— h	$7\frac{1}{2}$
Silber, ungefähr 15löth.	viergestrichen d	9
Nufsbaumholz, Taxusholz[1] —	— f	$10\frac{2}{3}$
Messing, Eichenholz, Pflaumbaumholz —	— fis	$10\frac{2}{3}$
Thönerne Pfeifenstiele	— e bis g	10 bis 12
Kupfer beinahe —	— g	12
Birnbaumholz, Rothbuchen, Ahorn —	— gis bis a	$12\frac{1}{2}$ bis $13\frac{1}{3}$
Mahagoni, gewöhnliches	— b fast	$14\frac{2}{5}$
Ebenholz, Weifsbuchen, Rüstern, Erlen, Birken ungefähr	— b	$14\frac{2}{5}$
Linden beinahe —	— h	15
Kirschbaum —	— h	15
Weiden, Kiefern[2] —	fünfgestrichen c	16
Glas, Eisen[3] ungefähr	— cis	$16\frac{2}{3}$
Tannen, höher als	— cis	$16\frac{2}{3}$ bis 18.

Diese Resultate sind zwar nicht absolut sicher, aber doch in einem ziemlich hohen Grade, und auf jeden Fall folgt aus ihnen die gröfsere Geschwindigkeit der Schallwellen in diesen Körpern, als in der atmosphärischen Luft. Nimmt man die Töne von Fischbein und Zinn aus, die ohnehin etwas dumpf

---

1 Bei dieser Holzart kann der Ton noch höher werden, wenn die Fibern gerader sind.

2 Bei mehr schrägen Fasern war der Ton fast eine Tertie tiefer.

3 Zwischen weichem Eisen und hartem Stahl war kein merklicher Unterschied.

Digitized by Google

und undeutlich sind, so liegen alle andere im Umfange einer einzigen Octave. Läfst sich hiernach annehmen, dafs die Tonhöhen bei den verschiedenen Körpern durch den Grad ihrer Starrheit (Sprödigkeit) und die Nähe ihrer Elementartheilchen (spec. Gewicht) bedingt werden, so folgt aus der geringen Verschiedenheit derselben bei sehr ungleichen Substanzen, als Glas, Eisen und Tannenholz, dafs die eine dieser Bedingungen durch die andere compensirt wird. Bezeichnet man demnach die relative Geschwindigkeit, die der bestimmten Schwingungsart nach der Zahl der Schwingungsknoten zukommt, durch n, die Länge des Stabes durch L, die Elasticität (Sprödigkeit) durch ϱ, das specifische Gewicht durch δ, so scheint die Zahl der Schwingungen oder der erzeugte Ton

$$N' = \frac{n}{L}\sqrt{\frac{\varrho}{\delta}}$$

zu seyn. Inzwischen beruht dieser Ausdruck keineswegs auf hinlänglich begründeten Thatsachen. Eine geometrische Construction der longitudinalen Schwingungen der Stäbe hat Poisson in seiner erwähnten Abhandlung geliefert, deren ausführliche Mittheilung sich für den vorliegenden Zweck nicht eignet. Merkwürdig ist jedoch das Verhältnifs, welches derselbe auf diese Weise zwischen den transversalen und longitudinalen Schwingungen aufgefunden hat und welches auf der Gestalt der Stäbe beruht. Am leichtesten und sichersten ist dasselbe bestimmbar bei runden und parallellepipedischen Stäben[1]. Sind diese an beiden Enden frei, so dafs sie den tiefsten Ton geben, nennt man ihre Länge L, ihre Dicke oder bei runden ihren Durchmesser e, die Menge der longitudinalen Schwingungen in einer Secunde n, der transversalen n', so ist für kantige Stäbe

$$n' = (2{,}05610)\,\frac{ne}{L}$$

und für runde

$$n' = (1{,}78063)\,\frac{ne}{L}.$$

Nach Versuchen, die Savart zur Prüfung dieser Formel angestellt hat, ergiebt sich eine so genaue Uebereinstimmung, als man bei einer so schwierigen Aufgabe erwarten kann.

---

1 Ann. Chim. Phys. T. XXXVI. p. 87.

Digitized by Google

19) Chladni[1] hat zuerst entdeckt, dafs Töne auch durch *drehende* Schwingungen der Stäbe erzeugt werden, und er scheint auch bis jetzt der einzige zu seyn, welcher diese am wenigsten interessanten näher betrachtete. Im Ganzen hängen auch diese mit der Elasticität[2] der Körper zusammen, die in fadenförmiger Gestalt, wenn sie gedreht werden, mit bedeutender Geschwindigkeit wieder in ihre vorige Lage zurückkehren, nach dem Gesetze der Trägheit über diese hinausgehn und auf diese Weise pendelartig sowohl anhaltend als auch regelmäfsig vibriren. Die Stäbe, womit man diese Töne hervorbringt, müssen rund und glatt seyn, wobei schon aus der Analogie folgt, dafs sie ebenso wie bei den longitudinalen Schwingungen ganz frei gehalten werden, oder an einem oder an beiden Enden eingeklemmt seyn, auch durch Berührung an verschiedenen Stellen noch andere Schwingungsknoten erhalten können. Nach Biot[3] kommen die Töne dann zum Vorschein, wenn man sie mit einem Bogen streicht, allein ich habe dieses nie versucht oder vielmehr auf diese Weise blofs transversale Schwingungen erzeugen können. Chladni, den ich um das geeignete Verfahren, sie hervorzubringen, fragte, gab mir kein anderes an, als dasjenige, wodurch man sie zwar schwieriger, als die longitudinalen Töne, dennoch aber bei langen, namentlich gläsernen Röhren oder Stäben jederzeit unfehlbar hervorbringt. Man hält den Stab in seiner Mitte zwischen den Fingern der einen Hand und reibt das freie Ende auf die bekannte Weise mit einem nassen wollenen, durch aufgestreutes Bimssteinpulver hierzu bereiteten Läppchen so, dafs die Longitudinaltöne in möglichster Vollkommenheit zum Vorschein kommen. An derjenigen Stelle der Röhre, wo dieses geschieht, hält man das Läppchen mit etwas stärkerem Drucke, als für die longitudinalen Schwingungen erfordert wird, fest und dreht die Röhre mit den sie haltenden Fingern durch Rollen um ihre Axe, worauf der Ton sogleich um so hörbarer erzeugt wird, je länger die Röhre ist.

Chladni giebt an, diese durch drehende Schwingungen

---

1 Neue Schriften der Berlin. Ges. Naturf. Freunde. Bd. II. S. 274. G. II. 87.

2 S. *Elasticität*. Bd. III. S. 194.

3 Traité de Phys. T. II. p. 88.

Digitized by Google

erzeugten Töne seyen allezeit eine *Quinte* tiefer, als die mit demselben und auf gleiche Weise gehaltenen Stabe erzeugten Longitudinaltöne, und diese Behauptung ist nicht blofs in alle spätere Lehrbücher übergegangen, sondern Biot[1] gründet hierauf zugleich eine Erklärung derselben. Hiernach sollen die zu den Vibrationen gehörigen Zusammendrückungen der Theilchen nicht in einer auf die Axe der Röhre rechtwinkligen, sondern in einer dieselbe im Winkel von 45° schneidenden Richtung erfolgen, hierdurch aber die Länge um so viel vermehrt werden, dafs hierdurch der tiefere Ton erfolgen müsse. Diese Verlängerung betrage nämlich $\sqrt{2}$, die ursprüngliche $= 1$ gesetzt, und weiche demnach nicht merklich von $\frac{1}{2}$ oder noch weniger von $\frac{1}{2}\frac{6}{5}$ ab, wenn man die kleine Quinte nimmt. Nimmt man die grofse Quinte, so ist das Verhältnifs $= 1{,}5$, welches von $\sqrt{2} = 1{,}4175$ nicht ganz unmerklich, mindestens rücksichtlich eines wahrnehmbaren Unterschieds des Tones, abweicht. Von gröfserer Wichtigkeit aber ist der Umstand, dafs der durch drehende Schwingungen erzeugte Ton bei Glasstäben und Glasröhren, deren ich eine sehr grofse Menge untersucht und mit Hülfe eines geübten Musikers nach einem *Instrumente* verglichen habe, um mehr als selbst die grofse Quinte, nämlich um die kleine Sexte oder selbst die volle Sexte, tiefer ist, so dafs also 1,6 und $\sqrt{2} = 1{,}4174\ldots$ einen zu merklichen Unterschied geben. Aus diesem Grunde und nach der eigenthümlichen Art zu schliefsen, wie diese Töne erzeugt werden, scheint mir Biot's Hypothese unzulässig, dagegen könnten die eben erwähnten Untersuchungen von Savart und Weber über die ruhenden und vibrirenden Theile der Röhren und das Verhältnifs ihrer Lage gegen einander bei Longitudinalschwingungen zur nähern Einsicht dieser Erscheinungen führen. Ist endlich das Verhältnifs der durch drehende Schwingungen erzeugten zu den Längentönen ein constantes, und nach Chladni das der Quinte, nach meinen Versuchen das der Sexte, so würde die angegebene Formel

$$N' = \tfrac{3}{4}\ \frac{n}{L}\sqrt{\frac{\varrho}{\delta}} \text{ oder } N' = \tfrac{10}{16}\ \frac{n}{L}\sqrt{\frac{\varrho}{\delta}}$$

als ein allgemeiner Ausdruck für dieselben gelten können.

---

1 Traité. T. II. p. 88.

Digitized by Google

Ungleich weiter aber, als durch die bisher genannten Gelehrten geschehn ist, hat Poisson in seiner bereits erwähnten Abhandlung[1] diese Aufgabe gebracht. Durch theoretische Betrachtungen, gegründet auf die Gesetze der Elasticität, findet er nämlich, wenn n die longitudinalen und n' die drehenden Schwingungsmengen bezeichnen, die mit dem nämlichen Stabe von der Länge L erzeugt werden,

$$n = \frac{a}{L} \text{ und } n' = \frac{c}{L},$$

dann aber $a = c\sqrt{\frac{1}{2}}$, woraus das Verhältnifs

$$\frac{n}{n'} = \frac{1}{2}\sqrt{10} = 1{,}5811$$

hervorgeht. Savart hat das Verhältnifs = 1,6668, also noch gröfser als die volle Sexte = 1,6 gefunden und Poisson meint sonach, dafs das durch ihn erhaltene Verhältnifs sehr nahe dem Mittel aus beiden gleich sey. Allein sobald von Glasstäben die Rede ist, wofür beide genannte Gelehrte kein abweichendes Gesetz angeben, so kann ich über das Resultat meiner Versuche, die ich in zu grofser Menge angestellt habe, nicht in Zweifel seyn, dafs nämlich bei diesen der Unterschied keine volle Untersexte ausmacht, und diesemnach ist das durch Poisson aufgefundene Resultat an sich absolut richtig. Für einen freigehaltenen Stab findet derselbe ferner, dafs die Vibrationsmengen in einer gegebenen Zeit blofs von der Gröfse $\frac{k}{\varrho}$ abhängen, wenn k die aus der Beschaffenheit der Masse folgende eigenthümliche Elasticität (wofür sich ein zusammengesetzter analytischer Ausdruck finden läfst) mit Rücksicht auf die Temperatur, ϱ aber die Dichtigkeit oder das spec. Gewicht bezeichnet. Hiernach wird

$$n = \frac{a}{2L} = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{5k}{2\varrho}},$$

und wenn n_1 die Vibrationsmengen des nämlichen transversal schwingenden Stabes bezeichnet,

---

1 Mém. de l'Inst. sc. Phys. et math. T. VIII. p. 357. Die hierher gehörige Stelle p. 456. Vergl. Ann. Ch. Phys. T. XXXVI. p. 337. Daraus in Poggendorff's Ann. XIII. 383.

Digitized by Google

$$n_1 = \frac{\lambda^2 \varepsilon}{4\pi L^2} \sqrt{\frac{5k}{2\varrho}}$$

Hierin ist λ das Volumen und ε die Dicke. Demnach findet Poisson

$$n_1 = (3{,}5608)\, \frac{\varepsilon}{2L} \sqrt{\frac{5k}{2\varrho}}$$

und

$$\frac{n_1}{n} = (3{,}5608)\, \frac{\varepsilon}{L}.$$

Savart prüfte dieses Resultat durch Versuche und fand, indem er den Stab, dessen Longitudinalschwingungen geprüft waren, für die transversalen um das Achtfache verkürzte:

1) für einen messingnen Stab

$L = \frac{1}{8}\,(0^m, 825)$ $\quad \varepsilon = 2^{mm}, 4$ $\quad n = 34133$

Beobachtet	Berechnet	Unterschied
$n_1 = 2844$	$n_1 = 2829$	-15

2) für einen Stab von Kupfer

$L = \frac{1}{8}\,(0^m, 825)$ $\quad \varepsilon = 1^{mm}, 7$ $\quad n = 36864$

Beobachtet	Berechnet	Unterschied
$n_1 = 2133$	$n_1 = 2164$	$+31$

3) für einen Stab von Eisen

$L = \frac{1}{8}\,(0^m, 88)$ $\quad \varepsilon = 2^{mm}, 25$ $\quad n = 45514$

Beobachtet	Berechnet	Unterschied
$n_1 = 3686$	$n_1 = 3683$	-3

Auch W. Weber[1] hat das durch Poisson aufgestellte Theorem auf dem Wege der Erfahrung so weit bestätigt gefunden, als die Fehlergrenze bei Versuchen dieser Art gestattet.

20) Die Stäbe, deren Schwingungsgesetze bisher untersucht worden sind, wurden als gerade angenommen, mindestens ohne merkliche oder auffallende Krümmung. Sobald sie gekrümmt werden, ändert sich die Lage der Schwingungsknoten auf eine

1 Poggendorff's Ann. XIV. 175.

Digitized by Google

Weise, welche Chladni durch eine Vergleichung mit denen der geraden Stäbe anschaulich gemacht hat. Am leichtesten erhält man bei einem geraden Stabe einen Ton, wenn man
Fig. 40. denselben AB am einen Ende bei ungefähr nicht völlig dem vierten Theile seiner Länge in α oder β festhält und am kürzern Ende mit dem Bogen streicht, indem sich dann die beiden Schwingungsknoten α und β bilden. Wird dieser Stab in der Mitte gekrümmt, so nähern sich die Schwingungsknoten einander, wie die Zeichnung angiebt, bis beide Schenkel parallel werden, beide Schwingungsknoten fast zusammenfallen und man die *Stimmgabel* (*diapason*) erhält, indem man den Stab an der Krümmung mit einem Stiele versieht, um diesen festzuhalten und hauptsächlich durch das Aufstemmen desselben auf eine feste Unterlage den Ton stärker und klingender zu machen. Beide Schenkel schwingen dann isochronisch beim Vorhandenseyn eines einzigen bedeutend ausgedehnten Schwingungsknotens und die tiefere Tonhöhe verhält sich zu der des geraden Stabes wie 16 zu 25. Da aber die Tonhöhe eines Stabes mit einem einzigen Schwingungsknoten sich zu der mit zwei Schwingungsknoten wie 1 zu 2 verhält, so ergiebt sich hieraus, dafs beim Tönen einer Stimmgabel nicht ein genau in der Mitte liegender Schwingungsknoten vorhanden sey, sondern dafs man deren zwei annehmen müsse, die einander sehr nahe liegen. Dessen ungeachtet schwingt keineswegs jeder der beiden Schenkel für sich und unabhängig vom andern, vielmehr tönt keiner, wenn man den einen berührt, wird aber der eine in einem Schraubstocke festgeschraubt, so kommt ein tieferer Ton zum Vorschein, welcher durch die Länge und Gestalt des Stieles bedingt wird. In die Mitte zwischen die beiden Schwingungsknoten über dem Stiele kann kein neuer fallen, weswegen drei Schwingungsknoten, bei geraden Stäben so leicht zu erhalten, bei der Stimmgabel unmöglich sind. Bei dieser, auf welche das Vorhandenseyn des Stieles einen so bedeutenden Einflufs ausübt, dürfte es schwer seyn, mehr als die bestehenden zwei Schwingungsknoten hervorzubringen, bei blofs gekrümmten Stäben mit parallelen Schenkeln hat aber Chladni das Vorhandenseyn mehrerer aufgefunden, unter denen 4 am leichtesten er-
Fig. 41. halten werden, deren Lage in n, n′ und NN′, so wie die durch die Vibrationen entstehenden Curven durch die Figur versinn-

Digitized by Google

licht werden. Hiernach giebt es folgende einander zugehörige Gröfsen:

Zahl der Schwingungsknoten	2	4	5	6	7	8
Zugehörige Töne	c	gis	fis	d	gis	cis

Die Reihe der möglichen Töne scheint noch weiter fortzugehn, ihre Hervorbringung dürfte jedoch grofse Schwierigkeiten haben. Die hier angegebenen erhält man vermittelst vierkantiger Stäbe von Eisen, Messing oder einem sonstigen elastischen Körper, etwa 0,5 Zoll breit, die man im äufsersten Schwingungsknoten locker zwischen den Finger hält und am Ende mit einem Violinbogen streicht.

Giebt man einem Stabe andere Krümmungen, als die eben beschriebene, so erhält man andere Töne, unter denen die eines Ringes zunächst Beachtung verdienen[1]. Dieser wird am besten aus etwas starkem Messingdrahte verfertigt, den man kreisförmig biegt und an den Enden mit Schlagloth sauber zusammenlöthet. Man legt ihn dann mit den Stellen, wo Schwingungsknoten hinfallen sollen, horizontal auf weiche Unterlagen von Kork, drückt ihn mit den Fingern nicht so stark an und streicht an einer Stelle, wo Schwingungsbogen hinfallen, in verticaler Richtung mit einem Violinbogen. Der Ring erhält hierbei allezeit eine gerade Anzahl von Schwingungsknoten, wie dieses aus der Natur der Sache folgt; denn bei einem Stabe sind die durch einen Schwingungsknoten von einander getrennten Schwingungen allezeit entgegengesetzt, mithin müfste, wenn ein Ring z. B. drei Schwingungsknoten in A, B und C hätte und sonach der Theil AB dem Theile BC entgegengesetzt vibrirte, der Theil AC beiden entgegengesetzt vibriren, was unmöglich ist. Chladni zeigt daher, dafs die Reihenfolge der Töne, welche L. Euler[2] und Golowin[3] für verschiedene Abtheilungen der Ringe theoretisch gefunden haben, mit der Erfahrung nicht übereinstimme, aus welcher vielmehr folgende zusammengehörige Gröfsen hervorgehn: Fig. 42.

1 Vergl. Lexell über die Schwingungen eines Ringes in Acta Petrop. 1781. T. V. p. 185.

2 Nov. Comm. Pet. T. X. u. Acta Ac. Pet. Ann. 1779.

3 Acta Ac. Pet. 1781. P. II.

Zahl der Schwingungknoten	4	6	8	10	12	14
Töne	c	fis	fis	dis	a	dis
Zahlen, mit deren Quadraten d. Töne übereinkommen	3	5	7	9	11	13

Die Untersuchung der Töne anderweitig gekrümmter, gleichmäfsig und ungleichmäfsig dicker Stäbe würde ein sehr weites Feld der Forschungen darbieten, jedoch ohne die Hoffnung eines zu erwartenden praktischen Nutzens.

c) Gespannte Membranen.

21) Die Untersuchung der Schwingungen gespannter Membranen dürfte unter allen akustischen Problemen die gröfsten Schwierigkeiten darbieten, wenn man die möglichen Arten theoretisch bestimmen und die erhaltenen Resultate durch die Erfahrung prüfen wollte; inzwischen würde die hierauf verwandte Mühe um so weniger belohnend seyn, als die in der Wirklichkeit vorkommenden ohne Zweifel sehr einfach sind. Sie finden sich nämlich blofs bei den Trommeln und den Pauken, unter denen die erstere ohnehin von sehr untergeordneter Bedeutung ist. Allerdings hat auch diese eine schwingende Membrane, deren Vibrationen bei gleichmäfsiger Spannung gleichmäfsig und also einen eigentlichen Ton erzeugend seyn könnten, allein bei dem eigenthümlichen Baue und der Stimmungsart derselben ist diese gleichmäfsige Spannung schwerlich vorhanden, aufserdem aber haben zwar die sogenannten türkischen Trommeln nur eine einzige Membrane, dagegen aber einen ungleich weniger festen, vielfachen Beugungen ausgesetzten Ring, die gemeinen Trommeln aber haben zwei Membranen, deren Vibrationen nicht füglich ganz gleichmäfsig seyn können und daher einander stören, um so mehr, als die untere durch den Stimmriemen gedämpft wird. Es ist diesemnach fraglich, ob man die Trommel noch unter die eigentlich tönenden, also musikalischen Instrumente rechnen könne oder ob sie nicht vielmehr blofs zur Erzeugung von Lärm oder Geräusch diene. Allerdings nimmt das Ohr bei zwei verglichenen Trommeln eine Art von Unterschied der Höhe und

Tiefe wahr, allein wenn mehrere Trommeln in beliebiger Menge gleichzeitig geschlagen werden, die doch zuverlässig nicht unison gestimmt seyn können, so hört doch das Ohr keine eigentliche Dissonanz, wie beim gleichzeitigen Tönen dissonirender Instrumente, und wollte man ihnen daher den Rang eines musikalischen Instruments beilegen, so stehn sie auf jeden Fall an der äufsersten Grenze und sind wohl richtiger, hauptsächlich aus dem zuletzt angegebenen Grunde, davon auszuschliefsen. Den Pauken dagegen kann man diesen Rang bei der deutlich wahrnehmbaren Verschiedenheit des Tones, worin sich die besseren mit bedeutender Reinheit stimmen lassen, nicht streitig machen und somit können auch ihre Schwingungsgesetze ein Gegenstand der Forschung werden.

22) Eine an beiden Enden gespannte Membrane von überwiegend gröfserer Länge als Breite schwingt nach Chladni's unbezweifelt richtiger Ansicht[1] einer gespannten Saite analog; es lassen sich daher in jener eben diejenigen Knotenlinien annehmen, die in dieser vorhanden sind, obgleich auch neben diesen, den Ton bedingenden, noch andere von verschiedenen Ordnungen auf gleiche Weise, als bei starren schwingenden Blechen und Stäben, vorhanden seyn mögen. Mit einem allseitig gleichmäfsig gespannten Paukenfelle, welches B gab, will Giordano Riccati[2] durch Erzeugung von eigenthümlichen Schwingungsknoten noch den Ton a und dann noch e erhalten haben, allein Chladni zeigt mit Recht, dafs die Schwingungen einer langen, an beiden Enden gespannten Membrane auf ein rundes, in seinem ganzen Umfange gespanntes Paukenfell keine Anwendung leiden. Nach seiner Ansicht kann letzteres blofs eine diametral dasselbe schneidende Knotenlinie a b oder am leichtesten eine kreisrunde m n o, deren auch zwei und vielleicht sogar noch mehrere vorhanden seyn könnten, oder endlich diese beiden Arten mit einander verbunden erhalten. Allerdings kommen bei starren elastischen runden Scheiben nicht blofs diese, sondern noch ungleich mehr zusammengesetzte Knotenlinien vor, allein bei diesen findet auch der wesentliche Unterschied statt, dafs der Umkreis eine freie Beweglichkeit hat, welcher beim Pauken- Fig. 43.

---

1 Akustik S. 77.

2 Saggi scientif. e litterari dell' Accad. di Padova. T. I. p. 419.

felle gleichmäfsig gespannt ist. Sollte dann eine solche Knotenlinie, wie a b ist, entstehn, so müfste der Theil e c niedersteigend, c d aber gleichzeitig aufsteigend seyn und an diesen Schwingungen müfsten beide Halbkreisflächen in der Art Antheil nehmen, dafs die Bewegungen jedes einzelnen Theiles vom Umkreise aus durch das Centrum nach dem gegenüberstehenden Theile des Umkreises fortgingen, was mir deswegen unmöglich scheint, weil bei den an die Knotenlinie a c b angrenzenden Theile, sobald diese einmal als ruhend angenommen wird, abweichende Spannungsverhältnisse vorhanden sind. Nach meiner Ansicht sind daher bei einem allseitig gleichmäfsig gespannten, in der Mitte durch einen Klöppel geschlagenen Pauken- und Trommelfelle blofs mit der Peripherie concentrische Knotenlinien möglich, deren Zahl zugleich nicht grofs seyn dürfte.

23) Neuerdings hat Marx[1] die bisher bekannten Schwingungen gespannter Membranen um eine Reihe neuer und interessanter vermehrt, die sich mit der *Aeoline*, einem von ihm so benannten akustischen Instrumente, hervorbringen lassen. Fig. 44. Dieser Apparat besteht aus einem etwa einzolligen Fufsbrete A B, in dessen Mitte sich eine verticale, drei Linien weite, messingne Röhre befindet, die durch das Bret gehend mit dem elastischen Rohre a b verbunden ist, dessen Oeffnung auf die Duse eines Blasebalgs gesteckt wird. Der Durchmesser der Röhre ist oben bis gegen 5 Lin. erweitert, am vortheilhaftesten soll es aber seyn, sie oben 7 Lin. weit zu machen und mit einem 1,5 Lin. breiten ebenen Rande zu versehn. Die Röhre geht sehr läufig durch einen flachen messingnen Ring, welcher in drei an den Enden mit Stellschrauben α, α, α versehene Arme ausläuft, die mit dem Ringe eine dem Fufsbrete fast parallele Ebene bilden, indem die Stellschrauben dazu dienen, den auf den Armen ruhenden hohlen Cylinder D D mehr oder weniger zu heben. Letzterer kann 3 bis 10 Zoll weit, aus Glas, Blech, Holz oder selbst Pappe verfertigt seyn

1 Schweigger's Journ. LXV. 148. LXVI. 109. Die erste Idee zur Construction dieses Apparates hat W. Weber bei Gelegenheit der Prüfung von Savart's Versuchen angegeben, indem er gleichmäfsig dickes englisches Briefpapier über einen Rahmen spannte und dasselbe tönen hörte, wenn er blofs leise dagegen blies. Schweigg. Journ. L. 184.

Digitized by Google

und hat oben eine über ihn gespannte Membrane, deren Ebene mit der Oeffnung der Röhre zur Berührung gebracht oder etwas über dieselbe gehoben werden kann, je nachdem man den Cylinder vermittelst der Schrauben etwas mehr hebt oder herabläfst, wodurch man zugleich auch diese Oeffnung genau unter die Mitte bringen oder ein wenig davon entfernen kann. Die einzige Art von Membranen, die sich nach MARX zur Erzeugung von Tönen eignen, sind die aus Cautchouck oder Federharz, die man bereitet, indem man eine Flasche dieser Substanz, von dunkler Farbe, möglichst gleichmäfsiger Dicke und mit wenigen oder gar keinen Einschnitten zuerst in warmem Wasser erweicht, dann 8 bis 16 Stunden in Aether liegen läfst (wobei es gut ist, den Hals gegen den Einfluss des Aethers zu schützen, indem man ihn in Quecksilber tauchen läfst, welches sich unter dem Aether befindet) und zuletzt die Blase vermittelst einer Compressionspumpe zur Papieresdicke aufbläst. Die auf solche Weise bereitete und straff auf den Cylinder gebundene Blase wird der Mündung der genannten Röhre sehr nahe gebracht, indem man den Cylinder vermittelst der Stellschrauben mehr herabläfst, man kann aber auch die Duse des Blasebalges von oben herab gegen sie richten und in beiden Fällen kommen nach einander mehrere Töne, die um die Doppeloctave verschieden sind, nebst einigen zwischenliegenden zum Vorschein, zuweilen hört man auch zwei Töne zugleich. Die Töne hängen weniger von der Stärke des Luftstromes ab, als von der Stelle, wo dieser die Membrane trifft, weswegen sogleich der eine Ton in einen andern übergeht, sobald man die eine der Stellschrauben etwas dreht, wobei der Uebergang oft mit einem Schnarren verbunden ist. Die Töne sollen um so viel leichter erzeugt werden, je dünner und gleichmäfsiger die Membrane ist, und sollen denen der Clarinette gleichen [1].

---

1 Dafs auf die angegebene Weise die beschriebenen Töne zum Vorschein kommen, ist nicht wohl zu bezweifeln, denn SCHNYDER VON WARTENSEE versichert (Schweigg. Journ. LXVI. 124.), dafs der physikalische Verein in Frankfurt sie bei der Wiederholung dieser Versuche sehr deutlich gehört habe. Da seitdem keine weitere Nachricht über diese Erweiterung der Akustik zu meiner Kenntnifs gekommen ist, so schien es mir nöthig, die Sache selbst genauer zu prüfen, allein das Resultat fiel nicht so befriedigend aus, dafs ich hoffen darf,

Wird während des Tönens feiner Sand auf die Membrane gestreut, so kommen allerdings Figuren zum Vorschein; indem der Sand anhaltend in die Höhe hüpft und auf diese Weise endlich auf den Schwingungsknoten liegen bleibt, wobei nach Marx keine fortschreitenden Wellen, wie bei den §. 17. beschriebenen longitudinalen Schwingungen elastischer Stäbe, beobachtet werden. Dagegen sollen sich einige gerade Linien als Chorden zeigen, auch verschiedene krumme Knotenlinien, deren Gestalt jedoch zu wenig regelmäfsig ist, als dafs sie genau beschrieben werden könnten, um so mehr, als

---

das neue Instrument werde den Beifall der Physiker erhalten. Ich liefs mir eine Aeoline durch Albert in Frankfurt verfertigen, welcher den vorliegenden Thatsachen gemäfs gewifs mit ihrer Construction vertraut ist, wonach die mitgetheilte Zeichnung nebst Beschreibung gemacht wurden; allein wie anhaltend auch mein Bemühen war, so konnte ich doch, aufser dem vom Erfinder erwähnten Schnarren, keinen Ton damit hervorbringen, selbst nachdem ich die Mündung des Rohres mit der später angegebenen Vorrichtung versehn hatte. Hierbei spannte ich die Haut von Federharz in den kleinsten Abstufungen zunehmend stets stärker, bis sie endlich nicht beim vorsichtigen Aufspannen, sondern während des ruhigen Stehens zerrifs. Dennoch bin ich überzeugt, dafs eine solche gut gerathene Membrane zum Tönen vorzüglich geeignet ist, weil sie die gleichmäfsigste Spannung aller ihrer einzelnen Theile gestattet, allein ihre Bereitung und Handhabung erfordert zu viele Vorsicht und Geschicklichkeit und der Erfolg ist dennoch zu unsicher, als dafs ein solcher Apparat sich für die gewöhnlichen, in den physikalischen Cabinetten zur Demonstration dienenden, eignen sollte; als musikalisches Instrument ist derselbe aber auf keine Weise geeignet. Später liefs ich mir aufser dem gläsernen hohlen Cylinder noch einen auf das Gestell passenden von Weifsblech und einen von Pappe verfertigen, überspannte die beiden erstern mit einer möglichst gleichmäfsigen Thierblase, den letztern mit feinem Briefpapier. Letzterer gab nie etwas anderes, als das vom Erfinder beobachtete Brummen, ein starkes schnarrendes Geräusch oder besser Getöse, der blecherne Cylinder dagegen war am geeignetsten, einen wirklichen, selbst angenehmen Ton zu erzeugen. In oft wiederholten Versuchen gelang es mir nämlich, mehrmals Töne zu erzeugen, die nach der durch die Witterung bedingten geringern oder stärkern Spannung der Blase höher oder tiefer waren. Entstand ein solcher heller, vernehmlicher und selbst wohlklingender Ton, so ging er durch geringe Verrückung von einer der Stellschrauben schnell in einen etwas höhern oder tiefern über, jede stärkere Drehung derselben machte den Ton verschwinden oder verwandelte ihn in das schnarrende Geräusch; nur äufserst selten ging er in einen bedeutend

der Sand auf den stets etwas rauh und klebrig bleibenden Membranen nicht leicht fortgleitet. Anfangs wollte es dem Erfinder dieser Phänomene nicht gelingen, vierkantige Membranen zum Tönen zu bringen, später aber vermochte er nicht blofs dieses, sondern sah auch, dafs der Sand sich auf ihnen zu regelmäfsigen Knotenlinien ordnete. Eine weitere Verfolgung dieser Versuche könnte vielleicht über die noch sehr wenig genau erforschten Schwingungsgesetze gespannter Membranen mehr Licht verbreiten und Grundlage theoretischer Untersuchungen werden, die uns bis jetzt noch gänzlich fehlen, in-

---

höhern oder tiefern über, jedoch entstanden im Allgemeinen Töne, die um eine Decime und selbst einmal um etwa die Doppeloctave verschieden waren. Aufgestreuetes Lycopodiumpulver wurde durch alle Bebungen der Membrane stets zu kleinen Häufchen §. 32. vereint, feiner Sand dagegen gerieth durch die schnarrenden Töne und tonlosen Bebungen blofs in hüpfende Bewegungen mit vorherrschender Neigung, nach dem Rande hin und selbst über diesen hinaus gestofsen zu werden; einige Male glückte es mir jedoch, ganz eigentliche, hinlänglich kenntliche und scharf begrenzte Figuren zu erzeugen, deren Gestalt mit sehr geringen Abweichungen auf die in der Zeichnung mitgetheilten zurückkamen. Die Beobachtung scheint mir wichtig, weil sie die eigentlichen Schwingungen gespannter Membranen deutlicher nachweist und denen der durch eigene Steifheit elastischen Scheiben anreiht. Solche kenntliche Figuren werden jedoch blofs durch hell und anhaltend klingende reine Töne erzeugt, gehören daher den mehr lärmenden Paukenfellen ohne Zweifel nicht an. Ihre Entstehung ist äufserst schwierig, denn sobald die eigenthümliche Elasticität der schwingenden Membrane durch das unbedeutende Gewicht des aufgestreueten Sandes nur um das Geringste geändert wird, hört der Ton sogleich auf und kommt zuweilen nach dem Wegblasen des Sandes nicht wieder zum Vorschein. Ungleich leichter konnte ich Töne und Figuren durch Einblasen der Luft mit dem Munde als vermittelst des Blasebalges erzeugen, auch schien mir die Membrane leichter zu tönen, wenn ich mitten in dieselbe ein feines Loch mit einer Nähnadel machte, was bei einer derselben zufällig geschehn war. Fig. 45. 46. u. 47.

Die schnarrenden Töne oder das schnarrende Geräusch entsteht sicher auf die nämliche Weise, als das erwähnte Pfeifen bei dem Versuche von Clement §. 4., die andern aber vermuthlich durch die Schwingungen, in welche die Membrane durch die aus der Röhre strömende und sich ausbreitende Luft versetzt wird, und diese würden sowohl wohlklingender, als auch leichter zu erzeugen seyn, wenn die vibrirende Membrane nicht gegen die Röhre stiefse, von welcher sie sich nicht weit entfernen darf, wenn ein Ton überhaupt entstehn soll.

dem das eigentliche Verhalten derselben durch die rücksichtlich des Calculs schätzbaren Abhandlungen von L. Euler[1] und Biot[2] über die Vibrationen gespannter rechtwinklig viereckiger Paukenfelle noch keineswegs genügend aufgeklärt worden ist, und es sogar noch fraglich bleibt, ob das Problem auf die von beiden versuchte Weise, wonach sie solche Membranen als eine Zusammensetzung rechtwinklig sich durchkreuzender Saiten betrachten, überhaupt gelöst werden kann. Weit wichtiger würde es seyn, einige von denjenigen Resultaten, zu denen Poisson in seiner mehrerwähnten Abhandlung gelangt ist, wie er selbst wünscht, durch die Erfahrung zu prüfen.

d) Elastische Scheiben.

24) Scheibenförmige, durch eigene Steifheit elastische Körper, mögen sie gerade oder gekrümmt seyn, lassen sich in regelmäfsige Schwingungen versetzen, wobei ganze Theile derselben, nicht einzelne Linien, sondern Flächen, vibriren, indem die zwischen diesen liegenden Theile von gröfserer oder geringerer Ausdehnung, sehr häufig blofs schmale Streifen, ruhen, die also nicht einzelne Schwingungsknoten, sondern gerade oder krumme, einander vielfach durchkreuzende Knotenlinien bilden. Die letzteren werden im Allgemeinen auf eine solche Weise erzeugt, dafs sie die ganze gegebene Fläche mit sichtbar vorwaltender Symmetrie in eine gewisse Menge aliquoter Theile theilen, deren Schwingungen in Richtungen erfolgen, die theils perpendiculär auf die Knotenlinien, theils ihnen parallel sind. Die vorhandene Symmetrie ist hauptsächlich daraus ersichtlich, dafs die schwingenden Theile der ganzen Fläche einander so weit ähnlich sind, als die Gestalt der letztern erlaubt, woraus dann zugleich eine Aehnlichkeit der Knotenlinien folgt, und dafs die Durchmesser der zwischen zwei Knotenlinien liegenden schwingenden Flächen etwas über die doppelte Länge derjenigen betragen, die von den Knotenlinien bis an den Rand der Scheiben gehn. Man ersieht hieraus, dafs diese Erscheinungen im Ganzen auf dasjenige zurückkommen, was oben §. 20. über die Transversalschwin-

1 Nov. Comm. Petrop. T. X. p. 243.
2 Mém. de l'Instit. Sciences phys. et math. T. IV. p. 21.

Digitized by Google

gungen elastischer Stäbe und die Lage ihrer Schwingungsknoten, insbesondere, wenn diese bei eintretender Krümmung sich einander nähern, gesagt worden ist. Chladni ist ohne Widerrede der erste, welcher diese Erscheinungen aufgefunden und die dabei zum Grunde liegenden Gesetze untersucht hat[1], denn obgleich Biot[2] und einige andere den Galilei als Erfinder nennen, so ersieht man doch bei genauer Prüfung bald, dafs in der hierher gehörigen Stelle[3] blofs von der hüpfenden Bewegung des Sandes auf metallenen Scheiben, die man durch Anschlagen zum Tönen bringt, die Rede ist.

Obgleich durch eigene Steifheit elastische scheibenförmige Körper nicht gerade durch ebene Flächen begrenzt seyn müssen, sondern auch gebogen, selbst bis zur Gestalt der Glocken gekrümmt seyn können und in allen diesen Gestalten auf ähnliche Weise schwingen, so betrachten wir doch hier vorläufig die geraden Scheiben, bei denen sich die Lage und Gestalt der Knotenlinien und der schwingenden Flächen, die durch transversale Schwingungen erzeugt werden, am besten nachweisen lassen. Die Scheiben können drei-, vier- und vieleckig, von geraden oder krummen oder auch beiden Arten von Linien begrenzt, regelmäfsig oder unregelmäfsig gestaltet, dicker oder dünner und von willkürlichen Substanzen seyn, jedoch ist ein gewisser Grad der Elasticität nothwendige Bedingung, weswegen pappene Scheiben sich nicht eignen, wenn sie nicht ungewöhnlich hart geleimt sind, hölzerne dagegen geben sehr kenntliche Figuren, metallene, hauptsächlich von harten Metallen, noch bessere, am passendsten aber sind gläserne. Letztere können zwar dick seyn, allein dann erhält man die Figuren minder leicht und nicht so scharf, auch findet Chladni das Spiegelglas nicht vorzüglicher, als gemeines Fensterglas, da die Flächen des erstern keineswegs stets genau parallel sind. Zur Anstellung dieser höchst interessanten Versuche, die sogar die Aufmerksamkeit Napoleon's so sehr reizten, dafs er sich dieselben durch den bis zur unglaublichen Fertigkeit hierin geübten Chladni zeigen liefs, wählt man am besten dünne Scheiben von gemeinem Fensterglase, die so viel

1 Entdeckungen über die Theorie des Klanges. Leipz. 1787. 4.

2 Traité de Phys. T. II. p. 93.

3 In seinen Dialogen über Mechanik. Opp. di Galileo-Galilei. Pad. 1761. T. III. p. 50.

als möglich gleichmäfsig dick sind, schleift die nach dem Schneiden scharfen Karten auf einem Sandsteine rundlich und bedient sich zum Streichen eines gewöhnlichen Geigenbogens mit ungefähr halb so vielen Haaren, als die guten Bogen zu haben pflegen, und welcher vorher etwas stark auf Colophonium gestrichen ist. Die Scheiben werden zwischen dem Daumen und Mittelfinger mäfsig fest entweder ganz kunstlos oder besser so gehalten, dafs nur eine kleine Stelle durch die weichen Fingerspitzen berührt wird, ohne dafs eine sonstige Stelle irgendwo anliegt, aufser wo man absichtlich noch einen oder mehrere andere Schwingungsknoten zu erzeugen wünscht. Grofse Scheiben (Chladni wandte sie bis zum Durchmesser einer Dresdner Elle an) geben leichter zusammengesetzte Figuren, als kleine, und wenn man jene nicht mit den Fingern halten kann, so klemmt man sie in einem Gestelle fest, welches von Metall, füglich auch von Holz verfertigt vermittelst der Schraube a an einem Tische angeschraubt wird und die Scheibe zwischen dem Ende der Schraube α und der unter ihr befindlichen Stütze fafst, die beide nicht zu dick und mit einem weichen Ueberzuge von Kork, Leder oder Federharz versehn seyn müssen, wobei sich von selbst versteht, dafs in den Berührungspuncten der Scheibe Schwingungsknoten entstehn, also auf jeden Fall da, wo die Scheiben gehalten werden, und zugleich an allen den Stellen, wo man noch aufserdem dieselben mit der Fingerspitze oder einer sonstigen weichen Substanz berührt. Chladni[1] empfiehlt indefs diese Vorrichtung nicht, sondern zieht es vor, die kleinern Scheiben mit den Fingern festzuhalten, die gröfsern in den Schwingungsknoten auf nicht breite, weiche Unterlagen, z. B. Stücke von elastischem Gummi (Kork), zu legen und oberhalb mit dem Finger zu drücken. Beim Streichen mufs der Bogen bei horizontaler Lage der Scheibe lothrecht gehalten werden und zugleich darf er nicht von der gestrichenen Stelle seitwärts gleiten; für tiefe Töne sind langsame Striche mit geringem Drucke, für hohe die entgegengesetzten am geeignetsten, allgemein aber erfordert das Erzeugen bestimmter Figuren einige Uebung, und man darf sicher annehmen, dafs bei einem deutlich vernehmbaren Tone auch jederzeit eine kenntliche Figur

Fig. 48.

1 Neue Beiträge zur Akustik. S. 40.

zum Vorschein kommt, die um so viel zusammengesetzter wird, je höher der Ton ist, fehlt aber der eine, so bleibt auch die andere aus. Die Scheiben müssen vorher trocken abgerieben seyn, damit sie nicht klebrig sind, zum Aufstreuen eignet sich aber am besten sehr feiner Quarzsand, den man vorher in Wasser schüttet und das schmuzige Wasser so lange abgiefst und mit frischem erneuert, bis es klar bleibt, wodurch der Sand vom beigemischten Staube gereinigt wird. Uebergiefst man nach Wheatstone[1] die Glasscheibe mit einer dünnen Schicht Wasser und streicht am Rande, so bilden sich sehr sichtbare gröfsere oder kleinere, in verschiedenen Richtungen sich durchkreuzende Wellen, die ein interessantes Schauspiel darbieten, zur Erkennung der Schwingungsknoten aber weit weniger taugen, als die Sandfiguren.

25) Es ist bereits erwähnt worden, dafs die Gestalt der Scheiben auf die erzeugten Figuren einen bedeutenden Einfluss ausübt, wie auch aus der Natur der Sache von selbst folgt, da die schwingenden Theile der Scheiben sich im Allgemeinen symmetrisch bilden und eine gegenseitig verhältnifsmäfsige Gröfse haben. Die Menge der möglichen Schallfiguren mufs daher in Folge der verschiedenen Gestalten der Scheiben sehr grofs seyn, allein es scheint fast unglaublich, dafs Chladni[2] die Zeichnungen von 90 solchen mitgetheilt hat, die blofs auf einer quadratförmigen Scheibe gebildet wurden, und dennoch sind auch hierin noch nicht alle mögliche Combinationen enthalten, denn einst zeigte mir ein Dilettant, der sich zum Vergnügen mit diesem Gegenstande beschäftigte, eine Figur, die unter den genannten nicht enthalten ist, auch hat Savart[3] Zeichnungen von 76 verschiedenen, blofs auf quadratischen Scheiben erzeugten, Figuren mitgetheilt, die man in dieser Art nicht sämmtlich in dem Werke von Chladni findet, und er glaubte aufserdem, dafs man noch mehrere andere auffinden könne und dafs es keine bestimmten Tonreihen gebe, die sich mit den nämlichen Scheiben hervorbringen lassen, sondern dafs blofs der eigenthümliche Charakter der Arten, wie die Scheiben abgetheilt werden, unverändert bleibt. Es würde daher den

---

1 Ann. Chim. Phys. XXIII. 313.
2 Neue Beiträge zur Akustik. Leipz. 1817. 4.
3 Ann. Ch. Phys. XXXII. 384.

erforderlichen Aufwand nicht belohnen, wenn ich die sämmtlichen bereits bekannten Figuren hier wiedergeben wollte, und ich begnüge mich daher, von den mit verschieden gestalteten Scheiben erhaltenen einige wenige mitzutheilen, welche vorzüglich geeignet sind, nachgemacht zu werden und den wichtigsten theoretischen Gesetzen zur Erläuterung zu dienen. Obgleich übrigens die Scheiben, ebenso wie die Stäbe, sowohl an einer Seite als auch an beiden befestigt oder angestemmt werden können und auch dann Figuren, wenn gleich minder scharfe, geben, so wird doch hier blofs von freien die Rede seyn, indem dieses die einfachsten Fälle in sich begreift. Im Allgemeinen mufs man die zu erzeugende Figur entweder kennen oder sich dieselbe mindestens ungefähr vorstellen und ihre Gestalt wird dann, unter Voraussetzung einer symmetrischen Theilung der ganzen schwingenden Fläche durch die entstehenden Knotenlinien, hauptsächlich durch den Ort desjenigen Punctes bestimmt, in welchem man die Scheibe festhält, und derjenigen Puncte, wo man dieselbe gleichzeitig berührt, dann durch die Stelle, wo man dieselbe streicht, und endlich durch die verschiedene Schnelligkeit und Stärke des Bogenstriches. Will man die Figuren insgesammt rücksichtlich der erzeugten Töne und ihrer gegenseitigen Verhältnisse systematisch ordnen, so mufs man nach der Art, wie Chladni gethan hat, die Zahl der nach der einen Richtung laufenden und der sie durchkreuzenden Linien nebeneinander stellen, worüber später noch etwas gesagt werden soll, nachdem zuvor erst die Entstehungsart einiger einfachen Figuren auf quadratischen Scheiben angegeben worden ist.

26) Unter der Voraussetzung, dafs die quadratische Scheibe in hinlänglichem Grade gleichmäfsig dick sey, mithin die symmetrisch liegenden Theile gleichzeitig vibriren können, mufs ein Kreuz e n, h c entstehn, wenn man dieselbe in der Mitte hält und nahe bei einer der vier Ecken streicht. In der Mitte nämlich ist die Bildung eines Knotenpunctes durch das Halten der Scheibe nothwendig bedingt; wird dann die eine Ecke durch das Streichen zum Vibriren gebracht, so geht hierbei ein beliebiges Theilchen herabwärts und das diametral gegenüberstehende aufwärts, so dafs vermittelst der Uebertragung dieser Wirkung auf die ganze Scheibe nothwendig die gezeichnete Figur entstehn mufs. Zuweilen nimmt sie jedoch

Fig. 49.

auch eine solche Gestalt an, dafs zwei Curven e d h und c m n sich in der Mitte begegnen. Hält man die Scheibe an der nämlichen Stelle, streicht dagegen in der Mitte einer ihrer Seiten, so kann dahin kein Schwingungsknoten fallen, vielmehr wird sich die Knotenlinie aus der Mitte der Scheibe nach den Ecken hinziehn und man erhält ein liegendes Kreuz, welches zuweilen aus zwei sich berührenden Curven c n d und e m k besteht, auch kann man das erstere Kreuz in das letztere übergehn sehn, wenn man anfangs an der Ecke und dann allmälig bis zur Mitte der Scheibe den Bogen fortführend streicht. Beide Figuren gehören den tiefsten Tönen zu, deren die Scheibe fähig ist, weil die längsten Theile derselben in Schwingungen versetzt werden; auch lassen sich beide in eine einzige vereinigen, wenn man die Scheibe in der Mitte hält und am Rande zwischen der Mitte und der Ecke streicht. Fafst man die Scheibe in der Mitte der einen Seite nahe am Rande und streicht an der nächsten Ecke, so erscheint aus ähnlichen Ursachen ein dem Kreise sich näherndes Viereck mit abgestumpften Ecken, und es zeigt sich hierin der Uebergang von den geraden Linien zu den krummen. Fafst man die Scheibe in etwas weniger als dem vierten Theile ihres Durchmessers, da wo die beiden Linien einander durchkreuzen, und streicht in der Mitte, so theilt sie sich nach der einen Richtung in zwei gleiche Hälften, nach der andern in drei ungleiche Theile, deren mittlerer etwas mehr als die doppelte Gröfse der beiden äufsern hat, weil bei der Bildung der beiden parallelen Knotenlinien die äufsern und innern Theile als in diesen Linien befestigt und so schwingend zu betrachten sind, weswegen jene nur die Hälfte der Länge von diesen haben können. Rückt man den Punct des Haltens etwas seitwärts und streicht man in der Mitte der Scheibe oder an der linken Ecke, so verwandelt sich die Figur in drei die Tafel schräg durchschneidende krumme Linien; jedoch wird diese minder leicht als die vorige erzeugt. Beide Figuren werden doppelt, nämlich die erste, wenn man die Scheibe an der Stelle hält, wo ein Paar der beiden Linien einander durchkreuzen, und in der Mitte einer der Seiten streicht, und die zweite, wenn man den Punct des Haltens etwas ändert und an der nächsten Ecke streicht. Auf gleiche Weise läfst sich leicht zeigen, wie die geradlinigen Figuren in die krummlinigen übergehn, ohne dafs die

Fig. 50.

Fig. 51.

Fig. 52.

Fig. 53.

Fig. 54. u. 55.

Digitized by Google

Fig. 56. bis 58. Tonhöhen eine Aenderung erleiden. Man hält nämlich die Scheibe in dem mit m bezeichneten Puncte und streicht an der Stelle n, beide in der Mitte der Scheibe liegend, wonach also die Theile der Scheibe nach einer Richtung hin genau so schwingen, als vibrirende Stäbe; rückt man beide Stellen etwas seitwärts, so werden die Linien krumm, und nach einer nochmaligen unmerklichen Verrückung fallen sie zusammen. Soll aufser diesen noch eine Knotenlinie in der Mitte entstehn, so mufs die Scheibe im Durchkreuzungspuncte m gefafst und in der Mitte bei n gestrichen werden, wobei die Abstände der Knotenlinien vom Rande sich aus dem früher Gesagten von selbst ergeben. Durch einige Verrückung der genannten Puncte oder noch leichter durch ein gelindes Anstemmen der einen Ecke verändert sich die Figur und geht allmälig in die beiden folgenden über. Eine andere verwandte Gruppe von Figuren erfordert um so mehr gleichmäfsige Scheiben, je mehr sie in einem höhern Grade zusammengesetzt ist. Sie theilt die Tafel nach einer Richtung in fünf, nach der andern in vier Theile durch parallele Linien und wird erhalten, wenn man die Scheibe im Durchschnittspuncte zweier äufsersten Linien fafst und an der Seite zunächst diesem Puncte in der Mitte zwischen zwei parallelen Linien streicht. Die Figur geht in die folgende über, wenn man die eine Ecke, von welcher die diagonale Linie ausläuft, gegen einen Gegenstand stemmt; durch leichte Aenderungen erhält man alle sechs krumme Linien nach gleicher Richtung laufend.

Fig. 59. bis 61.

Fig. 62. bis 64.

Es folgt aus dem bisher Gesagten leicht, auf welche Weise man die Zahl der Linien bis zu 4 und 4 wechselseitig einander parallelen bringen kann, jedoch erfordert es schon einige Uebung, wenn man darauf rechnen will, sie mit einiger Sicherheit zu erhalten, insbesondere weil der Punct der Durchkreuzung, wo die Scheibe gehalten werden mufs, und die Stelle, wo sie gestrichen wird, auf einen genau bestimmten kleinen Raum beschränkt sind, indem die geraden Linien leicht in gekrümmte übergehn. Noch schwieriger ist die Verbindung mehrerer geraden Linien mit krummen, z. B. vier der ersten mit ebensovielen der letzten, wobei die Krümmungen gegen die geraden gerichtet sind, oder wo die gekrümmten die von den geraden gebildeten Felder einnehmen, desgleichen sechs einander entgegengesetzt gekrümmte, die von 3 geraden recht-

Fig. 65.

Fig. 66. bis 68.

Digitized by Google

winklig geschnitten werden. Eine interessante Figur, die entweder einfacher oder zusammengesetzter zum Vorschein kommt, wird leicht erhalten, wenn man eine etwas gröfsere Scheibe in der Mitte auf eine weiche Unterlage legt und mit einem aufgesetzten Finger festhält, dann gleichzeitig eine von den Stellen am Rande, von wo eine der krummen Linien ausläuft, mit dem Daumen berührt und an der Ecke streicht. Von den vielen durch Chladni dargestellten Figuren, die sich auf gleiche Weise durch die Menge als durch die symmetrische Anordnung der geraden und krummen Linien auf eine wunderbare Weise auszeichnen, theile ich der Merkwürdigkeit wegen nur zwei mit, die eine für gerade, blofs an ihren Enden etwas gebogene, die andere für krumme Linien. Bei allen diesen ist es räthlich und meistens sogar nothwendig, aufser der Stelle, wo die Scheibe gehalten wird, auch noch eine andere, wohin ein Knotenpunct fällt, gelinde zu berühren; auch mufs die Scheibe, mindestens für die letzte und einige ihr ähnliche Figuren, hinlänglich grofs seyn. Fig. 69. u. 70. Fig. 71. u. 72.

Ein gewisses Verhältnifs der Tonhöhen und der Figuren folgt insofern unmittelbar aus der Natur der Sache, als eine gröfsere Menge von Knotenlinien die tönende Scheibe in kleinere Theile theilt, die somit den kürzern Stäben analog auch schneller schwingen müssen, folglich auch höhere Töne erzeugen. Mit absoluter Genauigkeit ist zwar ein solches Verhältnifs noch nicht aufgefunden worden, welches die zusammengehörigen Figuren und Tonhöhen in gröfster Schärfe auszudrücken vermöchte, und die Ursache dieser Ungewifsheit liegt ohne Zweifel in den Hindernissen, welche die physische Beschaffenheit der Scheibe, die Ausdehnung des Berührungspunctes und die Breite der gestrichenen Stelle einer scharfen geometrischen Construction entgegensetzen, allein Chladni hat dennoch aus seinen zahlreichen Versuchen ein im Allgemeinen passendes Gesetz aufgefunden. Um dieses übersichtlicher darzustellen, bezeichnet er die nach der einen und nach der andern Richtung fortlaufenden Knotenlinien ihrer Zahl nach durch die fortlaufenden Ziffern 1, 2, 3.... und zeichnet in die hierdurch gebildeten Fächer die relativen Schwingungsmengen nebst denjenigen Tönen, die hierdurch hervorgebracht werden. Der einfachste Ton, der hiernach erzeugt werden kann, da 1 und 0 keinen giebt (oder kein Ton dadurch er-

zeugt wird, dafs eine einzige Knotenlinie die Scheibe in zwei gleiche Hälften theilt), ist der durch 1 und 1 bezeichnete, welcher dann entsteht, wenn zwei Knotenlinien einander durchkreuzen. Von diesem ausgehend hat Chladni die Töne bis zu 8 und 8 verfolgt. Hierbei nennt er den zu 1 und 1 gehörigen G, weil seine Schwingungen ihm das Product von 2 und 3 zu enthalten scheinen und hiernach dann die übrigen Töne besser in die gewöhnliche Tonleiter passen. In der hierdurch gebildeten Tafel sind die Töne und deren Bezeichnungen an sich klar, ebenso wie die Zahlen, welche die verhältnifsmäfsigen Schwingungsmengen angeben, und es verdient daher blofs noch bemerkt zu werden, dafs die in Parenthesen eingeschlossenen Zahlen die vorher beschriebenen Figuren bezeichnen, die den erzeugten Tönen zugehören.

Verhältnisse der Knotenlinien und Tonhöhen einer Quadratscheibe nach Beobachtungen.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	—	G. 6							
2	d—.9 e. 10	h. 15	a. 27 b. 28						
3	gis 25	h. 30 e. 32	fis 45	c. 64					
4	gis 49	b. 55	cis 70 d. 72	fis 90	b. 111				
5	e. 81	f. 84 fis 91	gis 99	h. 120 c. 128	dis 152	fis 180			
6	h. 120 c. 125	c. 128	cis 140 d. 144	e. 161	g. 190 gis 198	b. 228	c. 260		
7	f. 169	fis 178	fis 180	gis 210 a. 218	h. 240	cis 278 d. 288	e. 324	fis 262	
8	224 b. 230		h. 242 c. 250	c. 260	d. 288 dis 298	f. 338	g. 384 gis 392	a. 434	h. 480

Chladni sucht hierbei noch ferner im Einzelnen zu zeigen, in welchem Verhältnisse die Tonhöhen und Mengen der Knotenlinien zu einander stehn, indem namentlich bei den Linien nach einer Richtung, also 2 und 0, 3 und 0 u. s. w., die Schwingungszahlen nach den Quadraten der ungeraden Zahlen 3, 5, 7, 9 u. s. w. zunehmen. Inzwischen läfst sich ein

solches Gesetz nicht in voller Allgemeinheit nachweisen, und es scheint mir daher angemessener, hier nicht ausführlicher darüber zu handeln[1].

27) Nicht quadratische rechtwinklige Scheiben unterscheiden sich von den quadratischen dadurch, dafs die Durchmesser nach der einen Richtung kleiner sind als nach der andern, bei der übrigens statt findenden Aehnlichkeit müssen daher auch die auf ihnen erzeugten Figuren einander ähnlich seyn, jedoch mit vorherrschender Neigung, die Anzahl der auf der schmaleren Seite erscheinenden Knotenlinien zu vermindern. Um den Einfluss der wachsenden Ungleichheit beider Seitenlängen genauer zu erforschen, schnitt Chladni von einer bereits durch die angebenen Versuche geprüften quadratischen Scheibe einen aliquoten Theil so ab, dafs der eine Durchmesser unverändert blieb, der andere aber zunehmend kürzer wurde, und es fand sich, dafs dann zwischen den durch gleiche Mengen der Knotenlinien auf beiden erzeugten Tönen das nämliche Verhältnifs obwaltete. Zur allgemeinen Uebersicht wird es genügen, hier blofs von einigen auf diese Weise veränderten Scheiben die gleichfalls verschiedenen Grundtöne und von zweien als Probe auch die übrigen Töne anzugeben. Wurde von der einen Seite der neunte Theil weggenommen, so dafs die Breiten sich wie 9 zu 8 verhielten, so verwandelte sich der tiefste Ton oder der Grundton aus G in A, und die übrigen Töne behielten gleichfalls das Verhältnifs der Quadrate von 3, 5, 7, 9 u. s. w. bei, waren jedoch etwas zu hoch; die entstandenen Figuren waren aber den vorigen ähnlich. Wurde die Scheibe so verändert, dafs sich die Durchmesser wie 6 zu 5 verhielten, so verwandelte sich der Grundton in B, die einfachern Verhältnisse der Töne für die durch 2 und 0, 3 und 0, 4 und 0 u. s. w. bezeichneten Figuren blieben gleichfalls den Quadraten von 3, 5, 7 u. s. w.

---

1 Eine ausführliche Abhandlung über die auf quadratischen Scheiben entstehenden Figuren, wenn man annimmt, dafs die zusammengesetzteren aus den einfachen durch Uebereinanderlegung derselben entstehn, hat neuerdings C. Wheatstone in Phil. Trans. 1833. P. II. p. 593. geliefert. Insbesondere sind die schönen Figuren ausgezeichnet, wodurch versinnlicht wird, welche nach der Theorie entstehn müfsten, und wie sie sich durch Verzerrung in der Wirklichkeit zeigen.

Digitized by Google

proportional, waren aber im Verhältnisse der Quadrate der Durchmesser höher. Inwiefern die entstehenden Töne von den gebildeten Figuren und den in ihnen befindlichen Knotenlinien abhängen, mithin ungleiche Figuren hiernach gleiche Töne geben, zugleich aber durch die Form der Scheiben eine Abänderung erleiden, zeigt der bloſse Anblick der Zeichnungen, wovon die erste und dritte Figur auch auf quadratischen Scheiben zum Vorschein kommen, die zweite und vierte sich aber unter den durch Chladni mitgetheilten quadratischen nicht finden. Fig. 73. bis 76.

Verhältnisse der Knotenlinien und Tonhöhen bei einer Rectangulär-Scheibe beim Verhältnisse der Durchmesser = 6:5

	0	1	2	3	4	5
0			dis +	a +	a	f
1		B	d	cis +	h —	g —
2	a +	e	cis +	a	e	b
3	dis +	fis	h —	e	b	
4	dis	e	g	b +		

Verhältnisse der Knotenlinien und Tonhöhen bei einer Rectangulär-Scheibe beim Verhältnisse der Durchmesser = 5:4.

	0	1	2	3	4	5
0			dis +	a +	a	f +
1		H	dis —	d +	h +	g +
2	h +	f +	dis —	b —	f	h
3	f +	g +	c +	f +	b +	dis
4	f	f +	gis —	c +	dis +	gis

Fig. 77. bis 79. Inwiefern die Figuren, in denen die Verhältnisse der Knotenlinien 5 und 0, 4 und 1 vorkommen, in einander übergehn und die Gestalt der Scheiben auf ihre Bildung einen Einfluſs ausübt, ergiebt sich aus dem bloſsen Anblicke der drei gezeichneten, die insgesammt den nämlichen Ton geben. Ebendieses ergab sich auch bei Scheiben, deren Durchmesser sich wie 3:2 verhielten, indem die das Verhältniſs der Knotenlinien 4 und 1, desgleichen 0 und 3 darstellenden in einander übergingen, die auch in einer andern Form zum Vorschein kommen, wobei die Beugungen den hier gezeichneten entgegengesetzt gerichtet sind. Verschiedene anderweitige Gesetze, welche Chladni noch für sonstige Verhältnisse der Durchmesser aufgefunden hat, übergehe ich hier, obwohl sie für das Ganze der Klanglehre nicht ohne Interesse sind. Wichtig dagegen sind die Resultate, welche derselbe über diese Schwingungsarten im Allgemeinen aufgefunden hat.

Fig. 80. bis 82.

a) Die Schwingungen rectangulärer Scheiben, die durch Knotenlinien bloſs nach einer Richtung erzeugt werden, die also nach der gewählten Bezeichnungsart zu 2 und 0, 3 und 0, 4 und 0 u. s. w. gehören, behalten nicht bloſs das Verhältniſs der Quadrate der Zahlen 3, 5, 7 u. s. w., sondern auch die absolute Menge der Schwingungen (als Ursache der entstehenden Töne) bei, die für schwingende Stäbe aufgefunden worden ist, woraus also hervorgeht, daſs sie nicht durch die Breite, sondern bloſs durch die Länge des schwingenden Rectangels bedingt werden.

b) Wenn bei einer solchen rectangulären Scheibe die Knotenlinien bloſs nach der Länge hin liegen, soweit die verminderte Breite dieses gestattet, worauf also nach der gewählten Bezeichnungsart die Ausdrücke 0 und 2, 0 und 3, 0 und 4 u. s. w. passen würden, so behalten die Schwingungen unter sich das Verhältniſs der Quadrate der Zahlen 3, 5, 7 u. s. w. bei, sind aber im umgekehrten Verhältnisse der Quadrate der Durchmesser höher. Dieses ist der Theorie insofern gemäſs, als die Töne dann unter dieser Bedingung ebenso von der Menge der nach der Länge hin sich erstreckenden Knotenlinien abhängen, als vorher von denen, die sich nach der Breite hin erstrecken.

c) Wenn eine nach einer Richtung gehende Knotenlinie von solchen durchschnitten wird, die nach einer andern gehn,

Digitized by Google

wofür also die Bezeichnung 1 und 1, 1 und 2, 1 und 3 u. s. w. gilt, so kommen die Töne, die bei einer Quadratscheibe im Verhältnifs 6, 15, 30 u. s. w. zu einander stehn (die aus der §. 26. mitgetheilten Tabelle ersichtlich sind), dem Verhältnisse 1, 2, 3 u. s. w. stets näher und gehn bei einem Verhältnisse der Durchmesser von 8 : 1 wirklich dahin über.

Chladni fügt endlich noch die sinnreiche Bemerkung hinzu, dafs die Schwingungen einer sehr schmalen Rectangulärscheibe, bei welcher eine nach der Länge gehende Knotenlinie durch mehrere nach der Breite laufende geschnitten wird, genau mit den §. 19. erwähnten drehenden zusammenfallen. Allerdings geht aus den bisherigen Untersuchungen hervor, dafs, wenn bei einer rectangulären Scheibe cd die nach der Fig. 83. Länge und ab die nach der Breite laufende Knotenlinie bezeichnet, bei den Schwingungen derselben der Theil ad aufwärts, bd dagegen niederwärts geht und so in den beiden andern Theilen nach Angabe der Zeichen. Denkt man sich dann diese Scheibe in einen quadratischen oder demnächst auch runden Stab übergehend und diesen in drehende Schwingungen versetzt, so läfst sich allerdings vorstellen, dafs beide einander gleich wären. Inzwischen sind die drehenden Schwingungen zu wenig bekannt, als dafs sich mit Sicherheit solche in die Quere laufende Knotenlinien, als a b bei rectangulären Scheiben, auch bei ihnen annehmen liefsen, und bei runden Stäben wird es ohnehin schwer, die hier angegebene Vorstellung festzuhalten. Hierzu kommt noch das merkwürdige Verhältnifs, dafs bei einer quadratischen Scheibe der Ton, welcher zu 1 und 1 (nach der §. 26. mitgetheilten Tabelle) gehört, genau um eine Quinte tiefer ist, als der zu 2 und 0 gehörige, und wollte man demnach diesen letztern als den einfachsten durch longitudinale, und jenen ersten als den einfachsten durch drehende Schwingungen erzeugten betrachten, so ginge hieraus eine noch gröfsere Uebereinstimmung hervor, da auch die Töne durch drehende Schwingungen bei einem runden Stabe eine Quinte tiefer sind als die longitudinalen, beide bei einem freischwebenden, also in der Mitte mit einem einzigen Schwingungsknoten versehenen Stabe genommen. Der Anblick der Figuren 63 und letzte ist allerdings dieser Vorstellung günstig, indefs verdient dabei wohl erwogen zu werden, was §. 19. in Beziehung auf Poisson's theo-

retische Untersuchungen rücksichtlich dieser Tonverhältnisse gesagt worden ist.

28) Bei dem Einflusse, welchen die Gestalt der Scheiben auf die zu erzeugenden Figuren nothwendig haben mufs, würden die Untersuchungen kein Ende nehmen, wenn man alle diejenigen, die auf den verschiedenst gestalteten Scheiben entstehn können, und die bei ihrer Bildung zum Grunde liegenden Gesetze ins Einzelne verfolgen wollte, weswegen auch selbst Chladni sich dieser am Ende nicht genugsam belohnenden Mühe überhoben hat. Sind die Scheiben regelmäfsig gestaltet, so zeigen sich die entstehenden Figuren gleichfalls symmetrisch; fehlt aber jene Regelmäfsigkeit, so fällt auch die Symmetrie weg, wobei jedoch der Umstand bemerkt zu werden verdient, dafs bei Scheiben, von denen ein Stück abgebrochen ist, zuweilen blofs derjenige Theil der Figur nicht erscheint, welcher dem fehlenden Theile der Scheibe zugehört, obgleich in andern Fällen die Figur auch im Ganzen ihre Gestalt verändert. Bei manchen unregelmäfsig gestalteten Scheiben kann es einiges Interesse haben, thatsächlich nachzuweisen, dafs sich auf ihnen nicht blofs Figuren erzeugen lassen, sondern dafs diese auch mit den Formen der Scheiben correspondiren. Unter den regelmäfsig gestalteten hat Chladni namentlich die *gleichseitig dreieckigen* näher untersucht, und mögen daher auch hier einige der interessantesten von ihm aufgefundenen Figuren erwähnt werden. Den tiefsten Ton erhält man, wenn drei Knotenlinien die Ecken der Scheibe so abschneiden, dafs jede Seite in drei gleiche Theile getheilt wird. Sie geht leicht in eine ihr verwandte über, wenn an einer Seite die beiden Linien zusammenfallen. Nennt man den auf diese Weise erhaltenen Ton eingestrichen c, so erhält man einen andern, welcher etwas höher als cis ist, wenn die zuletzt erhaltenen zwei Linien nach dem Innern zu gekrümmt werden. Eine interessante und leicht zu erhaltende Figur ist die, wobei die Knotenlinien von jeder Ecke aus nach der Mitte der gegenüberliegenden Seite laufen, deren jede also die Scheibe in zwei gleiche Hälften theilt. Sie wird erhalten, wenn man die Scheibe im Durchschnittspuncte der drei Linien festhält und im vierten Theile der Seite streicht, der erzeugte Ton ist ungefähr f. Die erste der genannten Figuren und die letzte werden in einer einzigen vereint und geben dann dreigestrichen b. Ebendiese Figur zeigt sich auch in

Fig. 84.

Fig. 85.

Fig. 86.

Fig. 87.

Fig. 88.

Digitized by Google

andern ähnlichen Gestalten, die dem nämlichen Tone zugehören. Endlich möge noch diejenige Figur erwähnt werden, welche die meisten Linien enthält, den verhältnifsmäfsig höchsten Ton, nämlich viergestrichen g, giebt und aufserdem durch Zusammensetzung von 4 Scheiben, auf deren jeder die Figur 6 vorhanden ist, gebildet werden kann, und um auch von den krummlinigen einige namhaft zu machen, wähle ich die beiden, die rücksichtlich des Tones gerade um eine Octave verschieden sind, indem die erste dreigestrichen, die zweite aber viergestrichen *dis* giebt. Fig. 89. Fig. 90. u. 91.

29) Die *gleichseitig sechseckigen* Scheiben gleichen rücksichtlich der auf ihnen zu erzeugenden Figuren sehr den runden, und Chladni hat sie daher auf gleiche Weise dadurch bezeichnet, dafs er die gerade durchgehenden Linien von den gekrümmten unterscheidet. Die Art ihrer Erzeugung bezeichnet er blofs im Allgemeinen durch die Wiederholung der Regel, dafs man die Scheibe an der Stelle halten müsse, wo sich die meisten Knotenlinien schneiden, oder wo ein solcher Punct nicht vorhanden ist, in einer der Linien selbst, wobei es oft nöthig ist, noch eine andere Stelle der Knotenlinie oder einen *Punct* der Durchkreuzung mehrerer mit einem Finger zu berühren; das Streichen aber geschieht an einer dem Haltungspuncte nahe liegenden schwingenden Stelle, insbesondere da, wo die Knotenlinie eine Einbiegung hat. Den tiefsten Ton giebt diejenige Figur, wobei die Scheibe vermuthlich genau so, wie eine quadratische, schwingt. Zur Vergleichung mit den übrigen nennt Chladni diesen Ton ungestrichen c, wollte man aber die theoretischen Untersuchungen durch die Erfahrung prüfen, so würde es nicht überflüssig seyn, eine quadratische Scheibe durch Wegnahme der Ecken in eine sechseckige zu verwandeln und die Töne beider, die dieser nämlichen Figur zugehören, mit einander zu vergleichen. Die Zahl der vom Mittelpuncte aus sich durchkreuzenden Linien kann vielfach vermehrt werden, indefs finde ich ihre Zahl nicht gröfser als sechs ganze, die also einen Stern von 12 Spitzen bilden, der am Ende noch durch ein Sechseck oder einen Kreis umgeben seyn kann; die erstere giebt dreigestrichen d, die letztere viergestrichen g, und diese ist wohl die am meisten zusammengesetzte unter allen, wenn sie hierin nicht von derjenigen übertroffen wird, welche die meisten krummen Fig. 92. Fig. 93. u. 94. Fig. 95.

Digitized by Google

Linien enthält, aber den nämlichen Ton giebt. Chladni theilt im Ganzen 30 auf solchen gleichseitig sechseckigen Scheiben erzeugte Figuren mit, wovon ich jedoch mich begnüge, nur noch die einfachste krummlinige zu erwähnen, welche den Ton b giebt und mehrfach verändert werden kann, insofern der Kreis die elliptische Gestalt annimmt und durch eine oder mehrere im Mittelpuncte sich durchkreuzende Linien geschnitten wird. Sonstige vieleckige Scheiben hat Chladni theils nicht untersucht, theils die Resultate seiner Erfahrungen nicht mitgetheilt, und man wird daher auch hier keine weitere Fortsetzung dieser mühsamen und schwierigen Untersuchungen erwarten.

Fig. 96.

30) Das meiste Interesse, aufser den rectangulären, gewähren die runden Scheiben wegen der Mannigfaltigkeit und Schönheit der auf ihnen erscheinenden Figuren. Um bei ihrer Vergleichung mit der Höhe der erzeugten Töne von einer festern Grundlage auszugehn, unterscheidet Chladni die durchgehenden Linien von den concentrischen kreisförmigen und bezeichnet die Zahl der erstern mit arabischen, der letztern mit römischen Ziffern; es wird indefs hier genügen, blofs einige der interessantesten aufzunehmen. Am leichtesten erhält man die ganz durchgehenden in der Mitte sich durchkreuzenden Linien, deren Zahl von zwei bis fünf ganzen zunimmt, die also vier- bis zehnspitzige Sterne bilden. Man erzeugt sie insgesammt, indem man die Scheibe in der Mitte festhält und sie zugleich an noch einer Stelle, wohin eine Knotenlinie fallen soll, mit einem Finger berührt, dann in der Mitte zwischen zwei Spitzen streicht. Ihre Bezeichnung ist dann von 2 und 0 bis 5 und 0, die Tonverhältnisse zeigt die unten folgende Tabelle, und es ist dabei nur noch zu bemerken, dafs man die haltenden Finger etwas mehr aus der Mitte rückt, je gröfser die Zahl der durchgehenden Linien werden soll, weil in diesem Verhältnisse der ruhende Raum in der Mitte gröfser wird. Die Zahl der durchgehenden Linien läfst sich übrigens noch vermehren, namentlich den Versuchen gemäfs bis zu 8, wobei zugleich merkwürdig ist, wie die geraden Linien durch Verzerrung in krumme übergehn, indem die beiden krummlinigen Figuren der Zeichnung nichts anders als Verzerrungen der Sterne mit 10 und mit 16 Spitzen sind, wie die Tonhöhe angiebt und auch aus dem Anblicke der Figu-

Fig. 97. bis 100.

Fig. 101. u. 102.

Digitized by Google

ren ersehn wird. Auch bei den runden Scheiben giebt die durch 2 und 0 bezeichnete Figur den tiefsten Ton, wofür Chladni die Bezeichnung C gewählt hat. Unter den krummlinigen Figuren ist diejenige die einfachste, die aus einem mit dem Rande der Scheibe concentrischen Kreise besteht; sie wird leicht erhalten, wenn man die Scheibe in einem Puncte der Kreislinie mit spitzigen Fingern hält und ungefähr unter diesem Puncte am Rande langsam und etwas stark streicht. Fig. 103. Unter den von Chladni mitgetheilten Zeichnungen finde ich diejenige Figur nicht, welche leicht entsteht, nämlich wenn der Kreis in ein Oval übergeht; dagegen wird bemerkt, dafs der angegebene Kreis oft durch eine oder mehrere im Mittelpuncte sich durchkreuzende Linien durchschnitten wird. Da man sich dieses leicht vorstellen kann, so überhebe ich mich der Mühe, die Sache durch Zeichnungen zu versinnlichen, und bemerke blofs, dafs die durchschneidenden Linien von 1 bis 4 wirklich erhalten worden sind, wobei jedoch der Kreis um so viel weiter aus der Mitte rückt, je gröfser die Zahl dieser Linien wird, und daher bei vier solchen Linien nur ungefähr halb so weit vom Rande absteht, als wenn er durch gar keine Linie geschnitten wird. Ebendieses Hinausrücken ist der Fall, wenn sich noch ein kleinerer concentrischer Kreis erzeugt, wobei entweder beide Kreise allein vorhanden oder gleichfalls von einer bis zwei sich durchkreuzenden Linien durchschnitten seyn können. Der innere Kreis wird kleiner und es entsteht dann noch ein zweiter und vermuthlich ist selbst noch ein dritter möglich; das Verhältnifs dreier, von einer geraden Linie durchschnittener, versinnlicht die Zeichnung. Fig. 104. Der innere Kreis scheint nach den durch Chladni mitgetheilten Figuren zu schliefsen einige Verzerrung zu erleiden, aber nie in eine eigentliche schlangenförmig gewundene Linie überzugehn, was bei einem oder den mehreren äufsern leicht der Fall ist. Indem aber aufserdem auch die geraden durchgehenden Linien gebogen werden, so begreift man leicht, dafs hiernach vielfach verschieden gestaltete Figuren zum Vorschein kommen müssen, zu deren Versinnlichung ich aus vielen blofs zwei der am meisten zusammengesetzten hier mittheile. Fig. 105. u. 106.

Rücksichtlich des Hervorbringens der hier erwähnten Figuren ist noch zu bemerken, dafs man den einen Kreis mit der ihn durchschneidenden einen Linie leicht hervorbringt, wenn

Digitized by Google

man die Scheibe in einem Durchschnittspuncte beider hält und in etwa 90° Abstand von diesem Puncte streicht; um aber mehrere dieser Linien zu erhalten, wird die Scheibe aufserdem an den Stellen, wohin diese fallen sollen, leicht berührt und mitten zwischen den Enden zweier Linien gestrichen. Unter die schwierigsten Figuren gehören die concentrischen Kreise ohne gerade Linien, so wie überhaupt alle Figuren, worin sich keine Linien schneiden. Um mehrere Kreise zu erhalten, wird die Scheibe in einem Puncte des einen Kreises mit sehr spitzigen Fingern gehalten, in einem Puncte des zweiten oder eines der übrigen mit einem Finger berührt und unter der gehaltenen Stelle gestrichen; geschieht dieses in einiger, bis 90° zunehmender Entfernung, so entsteht eine und auch wohl mehrere durchgehende gerade Linien, auch mufs der Abstand der Kreise von einander insofern richtig gewählt seyn, dafs ein gehöriges Verhältnifs der Längen der zwischenliegenden und der nach dem Rande hin sich erstreckenden Theile in der Art statt findet, wie dieses bereits bei transversal schwingenden Stäben angegeben worden ist, woraus dann von selbst folgt, dafs durch die Erzeugung eines zweiten Kreises aus diesem richtigen Abstande die Menge der übrigen gleichzeitig entstehenden von selbst folgt. Die gebogenen Kreise entstehn leicht von selbst, wenn man die einfachen zu erzeugen beabsichtigt, überhaupt ist die Mannigfaltigkeit der Figuren, die sich blofs zufällig zeigen, wenn man mit geeigneten Scheiben Töne hervorzubringen versucht, sehr grofs, wie sich aus der Menge derjenigen ergiebt, welche Chladni in seinen Schriften, namentlich in: *Entdeckungen über die Theorie des Klanges*, abgebildet hat, und es ist dabei hauptsächlich nur erforderlich, einen ansprechenden Ton festzuhalten und deutlich zu erzeugen. Das Verhältnifs der Figuren und der erzeugten Töne rücksichtlich der Zahl der gerade durchgehenden und der kreisförmigen Linien zeigt die nachfolgende Tabelle, worin die römischen Zahlen die Menge der Kreise, die arabischen Ziffern aber die der geraden Linien bezeichnen.

Digitized by Google

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0			C	d	c	g	cis	fis	b
I	gis	b	g	d	gis	cis	e	g	
II	gis	e	b	dis	g	h	cis	dis	
III	b	e	gis	c	dis	fis	gis	b	
IV	a	cis	f	g	b	c	cis		
V	f	gis	h	cis					
VI	h	d	e	f					
VII	e								

Als ein interessantes Endresultat der Untersuchungen hat Chladni für runde Scheiben aufgefunden, dafs für eine Anzahl von kreisförmigen Linien = K und von durchgehenden Linien = L das Verhältnifs der Töne durch $(L + 2K)^2$ ausgedrückt wird, wenn man kleine Abweichungen, wonach einige Töne vermuthlich in Folge nicht streng gleichmäfsiger Dicke und absolut runder Form der Scheiben etwas höher oder tiefer ausfallen, nicht in Anschlag bringt.

Auch die runden Scheiben kann man anstemmen und auf diese Weise veränderte Figuren erzeugen, deren Untersuchung mir aber die Wissenschaft nicht zu fördern scheint, weswegen ich die Sache hier nur beiläufig erwähne.

31) Das Verhalten elliptischer Scheiben, deren Untersuchung grofses Interesse gewährt, mufs der Natur der Sache nach von ihrer Excentricität abhängen, indem diejenigen, bei denen die beiden Brennpuncte nur wenig von einander ab-

stehn, fast genau mit den runden übereinkommen, dann aber sich stets mehr den rectangulären nähern, je gröfser der Abstand beider Brennpuncte von einander wird. Zur leichtern Uebersicht unterscheidet Chladni die in der Richtung der Axe gehenden Linien als Längenlinien, sie mögen gerade oder gekrümmt seyn, so dafs also eine dem Rande genau oder nahe genau parallel laufende Linie für zwei der Länge nach gehende gilt, und die die grofse Axe schneidenden als Querlinien, bei ihrer Zusammenstellung aber setzt er die letztern voran, wonach also 1 und 2 eine Figur bezeichnen würde, worin sich eine Querlinie und zwei Längenlinien befinden. Hiernach lassen sich die Figuren leicht ordnen, und das Verfahren, wodurch man dieselbe erzeugt, folgt im Allgemeinen aus den bisher mitgetheilten Vorschriften. Sollen also die Fi-
Fig. 107. bis 110. guren mit blofsen Querlinien oder die durch 2 und 0, 3 und 0 u. s. w. bezeichneten zum Vorschein kommen, so hält man die Scheibe in der Mitte der einen äufsersten Linie, setzt bei mehrern noch einen Finger in die Mitte einer der folgenden auf und streicht unter dem gehaltenen Puncte möglichst nahe
Fig. 111. bis 115. am Ende der grofsen Axe. Die Reihe der Figuren mit mehrern Querlinien und einer in der Mitte sie schneidenden Längenlinie von der Bezeichnung 1 und 1, 2 und 1, 3 und 1 u. s. w. wird auf gleiche Weise erzeugt, indem man die Scheibe im Durchschnittspuncte der äufsersten Querlinie und Längenlinie hält, bei mehreren zugleich im nächstfolgenden Durchschnittspuncte einen Finger aufsetzt und mitten zwischen den Enden der erstern beiden Linien streicht. Die so entstehenden Töne sind klingender, als die vorhergehenden, weil die Schwingungen durch das Streichen weniger gehindert werden. Sollen diejenigen Figuren erzeugt werden, bei denen
Fig. 116. bis 123. eine innere Ellipse allein vorhanden ist oder durch Querlinien allein oder durch noch eine Längenlinie oder durch diese und noch Querlinien geschnitten wird, so verfährt man auf ganz gleiche Weise. Zur Versinnlichung dieser einander sehr ähnlichen Figuren theile ich blofs die Zeichnungen derjenigen mit, die durch 0 und 2, 1 und 2, 0 und 3, 1 und 3, 2 und 3, 3 und 3, 4 und 3, 5 und 3 bezeichnet werden. Bei allen diesen fafst man die Scheibe am besten im Durchschnittspuncte der inneren Ellipse mit der grofsen Axe, erleichtert das Entstehn der folgenden Querlinien durch Aufsetzen eines

Fingers und streicht zwischen den beiden Enden derjenigen Linien, die sich im Haltungspuncte durchkreuzen. Auch bei diesen Figuren rückt die innere Ellipse dem Rande der Scheibe näher, wenn mehrere Querlinien vorhanden sind.

Das Verhältnifs der grofsen Axe zur kleinen kann sehr verschieden seyn, und es ist schon bemerkt worden, dafs hiernach das Verhalten der Scheiben entweder mit dem der runden übereinkommt, oder sich mehr dem der länglich rectangulären nähert. CHLADNI hat indefs aufgefunden, dafs die Verhältnisse $5:3$, $7:3$, $11:3$, überhaupt $5+3n:3$, worin n sowohl $=0$ als auch irgend eine ganze Zahl seyn kann, unter die merkwürdigsten gehören. Es findet hierbei nämlich das Gesetz statt, dafs bei allen diesen Scheiben, wenn Q die Zahl der Querlinien und L die der Längenlinien bezeichnen, die Töne einander gleich sind, wenn $Q+(n+2)L$ dieselbe Summe giebt. Um hierüber Gewifsheit zu erlangen, wurden die Tonverhältnisse nicht blofs an vielen, sondern auch an vorzüglich grofsen elliptischen Scheiben von ungleichen Excentricitäten von ihm untersucht. Von den vielen hiernach erhaltenen Resultaten theile ich blofs die Tonverhältnisse zweier Scheiben mit, bei denen dieses Gesetz in Anwendung kommt und deren Töne aufserdem mit denen einer runden Scheibe verglichen worden sind. Wenn nämlich eine runde Scheibe diejenigen Tonverhältnisse zeigt, die in der eben hierüber mitgetheilten Tabelle aufgezeichnet sind, so giebt sie in eine elliptische verwandelt, deren Durchmesser sich wie $5:3$ verhalten, die folgenden, wobei die in der ersten verticalen Columne enthaltenen Zahlen die Menge der nach der Länge laufenden Linien (eine Ellipse für 2 gerechnet) bezeichnen, die in der obern horizontalen aber die Querlinien.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0			Dis	g	f	cis	g			
1		Gis	a	g	d	gis	cis	f	a	c
2	a	g	d	gis	cis	f	a	c		
3	d	gis	cis	f	a	c				
4	cis	f	a	c						
5	a	c								

Man übersieht bald die hier vorkommenden gleichen Töne; zu mehrerer Deutlichkeit aber stelle ich die Zahl der Querlinien = Q und der Längenlinien = L (diese letzteren einfach, so dafs sie also doppelt genommen werden müssen, um S = Q + 2L zu erhalten) zusammen und setze unter diese die Töne, die hiernach durch die verschiedenen Combinationen gleichartig erhalten werden.

	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.
	2 + 1	3 + 1	4 + 1	5 + 1	6 + 1	7 + 1	8 + 1	9 + 1
	0 + 2	1 + 2	2 + 2	3 + 2	4 + 2	5 + 2	6 + 2	7 + 2
			0 + 3	1 + 3	2 + 3	3 + 3	4 + 3	5 + 3
					0 + 4	1 + 4	2 + 4	3 + 4
							0 + 5	1 + 5
S =	4	5	6	7	8	9	10	11
T =	a	g	d	gis	cis	f	a	c

Unter den vielen andern, durch Chladni untersuchten Verhältnissen theile ich nur noch das von 8:3 mit, und wiederhole die Bemerkung, dafs auch hierbei die Angaben sich auf die oben mitgetheilten Tonverhältnisse einer runden Scheibe beziehen, indem angenommen wird, dafs eine solche in eine elliptische von dem angegebenen Axenverhältnisse verwan-

delt werde. Uebrigens bleiben die Bezeichnungen die nämlichen.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0			Dis	g	fis	d				
1		d	d	h	f	b	dis	g	h	d
2	h	f	b	dis	g	h	d			
3	dis	g	h	d						
4	d									

Hierin geben also folgende Combinationen nach der Formel $S = Q + 3L$ gleiche Töne:

	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.
	3 + 1 0 + 2	4 + 1 1 + 2	5 + 1 2 + 2	6 + 1 3 + 2 0 + 3	7 + 1 4 + 2 1 + 3	8 + 1 5 + 2 2 + 3	9 + 1 6 + 2 3 + 3 0 + 4
S =	6	7	8	9	10	11	12
T =	h	f	b	dis	g	h	d

Auch auf halbrunden Scheiben kommen Figuren zum Vorschein, die im Ganzen von der Art sind, dafs sie die auf einer runden erzeugten bilden, wenn man deren zwei zusammensetzt, welches auch bei solchen meistens der Fall ist, die blofs einen Kreissector ausmachen. Chladni hat auch diese genauer untersucht und ihre Tonverhältnisse bestimmt, es scheint mir jedoch unnöthig, hierüber mehr ins Einzelne einzugehn.

31) Praktische Anwendungen der durch eigene Steifheit elastischen und hiernach tönenden Scheiben giebt es in der Musik nur wenige. Als solche sind hauptsächlich die *Becken*

Digitized by Google

(*cymbales*) zu nennen, flache Teller mit einem Buckel in der Mitte, wo sich ein Riemen zum Halten derselben befindet, und die man bei der Militärmusik (sogenannten türkischen Musik) und in lärmenden Opernstücken anzuwenden pflegt. Sie sind von Messing oder einer andern, der Glockenspeise ähnlichen Legirung von Kupfer, selten bei hohem Luxus von Silber. Wenn sie dünn sind, geben sie keinen eigentlichen oder einen nicht genau bestimmbaren Ton, sondern erzeugen ein blofses Geräusch und dienen also, wie die Trommeln, blofs zur Vermehrung des Getöses, dicker und elastischer lassen sie sich durch Abnehmen des Randes höher auf einen bestimmten nicht übel klingenden Ton stimmen[1]. Vieles Aufsehn erregte seit mehrern Jahren ein aus China gebrachtes Instrument, *Tam-Tam* oder *Gong-Gong*[2], welches sich durch seine aufserordentliche Sprödigkeit und grofses spec. Gewicht auszeichnet; auch kann man dasselbe in Europa nicht nachmachen, da die Chinesen die Art der Verfertigung geheim halten. Chladni[3] sah solche ächte Instrumente zuerst zu Dresden, später zu Kopenhagen und Paris; an letzterem Orte sah ich gleichfalls das schöne Exemplar im *Conservatoire des arts*. Es gleicht einem schlechten kupfernen Deckel, hat ungefähr 1,5 Fufs im Durchmesser, einen etwas über einen Zoll hohen, nicht scharf umgebogenen Rand, wird an einem Bande, welches durch zwei Löcher im Rande gezogen ist, freischwebend gehalten und mit einem Klöppel, an dessen Ende sich ein über eine Faust dicker, mit Leder überzogener, fest gepolsterter Knauf befindet, in der Mitte stark geschlagen und erzeugt dann einen furchtbar hell klingenden, zuletzt etwas rasselnden Ton, von einer Stärke und Dauer, dafs er wahrhaftes Erstaunen erregt. Die Ursache hiervon ist vermuthlich in dem hohen Grade der Sprödigkeit zu suchen, die diesem Metallgemische eigen ist, die aber mit einer unverhältnifsmäfsigen Zähigkeit durch die eigenthümliche Bearbeitungsart verbunden wird, wie man aus seinem grofsen spec. Gewichte schliefsen mufs[4]. Aufserdem giebt es in China ein musika-

1 Vergl. Paradisi über Schwingungen elastischer Bleche in Memorie dell' Instituto nationale Italiano. T. I. part. 2.

2 S. diesen Art. Bd. IV. S. 1612.

3 Neue Beiträge zur Akustik S. 72.

4 Nach der Angabe von Biot Traité de Phys. T. II. p. 185. hat

liches Instrument, *King* genannt, welches nach Chladni[1] aus etwa 16 Stücken Glas oder einer glasigen schwarzen Steinart von der Form der Zeichnung besteht. In einem jeden befindet sich im Durchschnittspuncte n der beiden Linien, welche eb und dc halbiren und mit den Seiten parallel laufen, ein Loch, wo die Scheibe aufgehangen und im Puncte g mit einem Klöppel geschlagen wird. Das Loch befindet sich allezeit im Schwingungsknoten, aufserdem aber hatten später von Chladni[2] gesehene Scheiben die Gestalt eines Wallfisches oder eines Drachen, mit vielen eingeschnittenen Figuren, woraus hervorgeht, dafs die Gestalt nicht wesentlich ist. Fig. 124.

32) Bei der bisherigen Darstellung der Schwingungsgesetze elastischer Scheiben bin ich demjenigen gefolgt, was Chladni in diesem wichtigen Zweige der Akustik zuerst aufgefunden, durch seltenen Fleifs später erweitert und in einen genauen Zusammenhang gebracht hat. Seitdem haben verschiedene Gelehrte die nämliche Aufgabe gleichfalls zum Gegenstande ihrer Untersuchungen gewählt, wodurch dieselbe noch etwas erweitert worden ist. Hauy[3] untersuchte die Gesetze schwingender Flächen; Savart[4] suchte durch eine Reihe von Versuchen darzuthun, dafs aufser den Hauptschwingungen der Scheiben, die durch die Sandfiguren angegeben werden, noch secundäre vorhanden seyen, die durch andere leichte Körper, als namentlich *semen lycopodii*, aufgefunden würden, die aber mit jenen in so genauem Zusammenhange ständen, dafs man sie aus denselben im voraus zu bestimmen vermöge. Faraday[5] hat diese Versuche mit Anwendung mehrerer leichter

---

Dieser aufgefunden, dafs diese Metallmischung abgelöscht hämmerbar, nach langsamem Erkalten aber spröde ist; diese Instrumente müssen daher im erstern Zustande gearbeitet und nachher gehärtet worden seyn. Vergl. Ann. Ch. Ph. T. LIV. p. 331.

1 Akustik. S. 193. Die mitgetheilte Beschreibung ist entnommen aus Mémoires concernants les Chinois. T. VI. redigés par Amiot P. II. p. 255. und aus Histoire générale de la Chine T. XIII. redigé par Gaubil. Par. 1785. p. 300. u. 772.

2 Neue Beiträge zur Akustik S. 72.

3 Journ. de Phys. T. LXXXVIII. p. 125.

4 Ann. Chim. et Phys. T. XXXVI. p. 187.

5 Phil. Trans. 1831. p. 299 ff. Poggendorff's Ann. XXVI. 193.

Digitized by Google

Körper wiederholt und gefunden, dafs diese zuweilen, aber nicht allezeit, die Hauptfiguren zwar gleichfalls bilden, zu derselben Zeit aber sich über den schwingenden Stellen anhäufen. Inzwischen dienen die erhaltenen Resultate nicht sowohl zur Aufklärung der Schalllehre, als vielmehr zur Erforschung des eigenthümlichen Verhaltens vibrirender Scheiben. Unter den vielen interessanten Figuren, die hierbei zum Vorschein kamen, ist eine der merkwürdigsten diejenige, welche entsteht, wenn eine längliche Glasplatte in den zwei Schwingungsknoten unterstützt und zum Tönen gebracht wird, wobei noch eine Menge von Modificationen dadurch eintreten, dafs der Staub sich neben kleinen auf- oder angeklebten Papierstreifchen aufhäuft, wie aus der des Beispiels wegen mitgetheilten Zeichnung ersichtlich ist. Auch auf die Zinke einer tönenden Stimmgabel kann man feinen Staub streuen und solche Anhäufungen wahrnehmen, noch besser aber das Hinstreben des Staubes nach dem Mittelpuncte der Schwingungen, wenn man eine Thierblase über einen hohlen Cylinder straff ausspannt, in der Mitte ein durchgezogenes Pferdehaar zwischen den Fingern mit etwas Colophoniumpulver streicht und Lycopodiumsamen aufstreut. Faraday leitet diese Erscheinungen von der Luft ab, die über den schwingenden Theilen in Bewegung gesetzt wird und diese dann dem Pulver mittheilt, wie sich sehr augenfällig zeigte, als sie ausblieben, wenn der Apparat unter einen luftleeren Recipienten gebracht und das durch einen Kork hervorragende Pferdehaar gerieben wurde. Bei einer auf 4 Korkstücken einige Zoll unter Wasser ruhenden Glasscheibe, über deren Mitte eine Glasröhre gestemmt und in longitudinale Schwingungen versetzt wurde, häufte sich das aufgestreuete Eisenfeilicht gleichfalls nicht über den ruhenden, sondern den bewegten Stellen an. Bei quadratischen sowohl als auch bei runden Scheiben wurden einzelne Tropfen von Wasser oder Oel bald auf die untere, bald auf die obere Fläche so gebracht, dafs sie über den Knotenlinien durch ihre Adhäsion festhingen; sobald aber die Scheiben in horizontaler oder selbst geneigter Lage tönten, sammelten sie sich über den schwingenden Theilen und bildeten dort Anhäufungen. Faraday gründet hierauf den Schlufs, dafs die von Savart angenommenen secundären Schwingungen gar nicht existiren und die angegebenen Wirkungen viel-

Fig. 125.

Digitized by Google

mehr der Luft oder dem Wasser beizumessen sind, die durch die Vibrationen in Bewegung gesetzt die leichten Körper mit sich fortreifsen. Auch bei den Wasserwellen, die nach WHEATSTONE auf den Scheiben erzeugt werden, bemerkt man deutlich, dafs sie sich über den vibrirenden Stellen anhäufen. Die interessanten Phänomene lassen sich ausnehmend vervielfältigen, wenn man auf Glasscheiben von ungleicher Gröfse, quadratischen oder runden, Glasstäbe vertical aufkittet, sie mit einer dünnen Schicht von verdünnter Tinte übergiefst, dann durch Reiben der Glasröhre in Schwingungen versetzt und das Licht hindurchfallen läfst, welches blofs durch die freien Stellen dringt und es möglich macht, die über der ganzen Scheibe meistens sehr regelmäfsig und zahlreich verbreiteten Anhäufungen wahrzunehmen. Aehnliche Erscheinungen zeigen sich, wenn man das Ende einer in longitudinale Schwingungen versetzten Röhre mit Wasser in Berührung bringt oder wenn man eine Latte in horizontaler Lage befestigt, das freie Ende derselben über ein Gefäfs mit Wasser bis zur Mitte desselben hinüberragen läfst und durch einen unten angeklebten Kork mit der Oberfläche der Flüssigkeit in Berührung bringt, dann auf der Latte ein verticales Glasstäbchen befestigt und dieses durch Reiben in longitudinale Schwingungen versetzt, wodurch die Oberfläche der Flüssigkeit in wellenförmige Bewegungen (*crispations* nach FARADAY) versetzt wird. Im Ganzen zeigen diese Versuche augenfällig, dafs auch bei den transversalen Schwingungen der elastischen Körper auf gleiche Weise wellenartige Schwingungen der einzelnen Theile statt finden, als bei den longitudinalen der Stäbe §. 17. untersucht worden sind, und die man daher secundäre nennen kann, insofern sie die Töne nicht unmittelbar erzeugen; die Figuren lassen sich aber leicht erzeugen, wenn man Scheiben mit Lycopodiumpulver bestreuet und nach CHLADNI's Methode durch Streichen in transversale Schwingungen versetzt; noch schöner und anhaltender aber kann das Erzeugen der Wolken, das Ansammeln der kleinen Häufchen, die Anwesenheit der Knotenlinien und das endliche Anhäufen alles Staubes in der Mitte beobachtet werden, wenn man sich der oben beschriebenen straffen Thierblase mit einem Pferdehaare bedient.

Interessant sind ferner die Resultate, zu denen SAVART[1]

1 Ann. Chim. et Phys. T. XL. p. 1. u. 113.

gelangt ist. Er hat nämlich aufgefunden, dafs die Schallfiguren auf Scheiben eine durch die Structur der Körper modificirte Veränderung erhalten, die durch die Richtung ihrer fibrösen und weicheren Theile, desgleichen ihr krystallinisches Gefüge bedingt wird und zugleich auf die Höhe der Töne einen Einflufs äufsert. Er hat seine Versuche hauptsächlich auf Scheiben aus Holzarten, die in verschiedenen Richtungen gegen ihre Fibern geschnitten waren, auf solche aus Quarz und Kalkspath ausgedehnt und die entstehenden Figuren benutzt, um die eigenthümliche Structur dieser Körper aufzufinden. Da diese Aufgabe jedoch von der eigentlichen Schalllehre etwas weiter entfernt liegt, so mufs ich namentlich in Beziehung auf die grofse Menge der mitgetheilten Figuren auf die Abhandlung selbst verweisen.

Vorzugsweise verdienen noch die Bemühungen erwähnt zu werden, welche Strehlke[1] diesen Klangfiguren gewidmet hat. Zuvörderst setzt er die üblichen Glasscheiben polirten Metallscheiben von Messing oder Glockenspeise nach, weil die letztern, wenn sie genau gearbeitet und etwa 0,5 bis 0,75 Lin. gleichmäfsig dick sind, die Knotenlinien bei weitem regelmäfsiger geben sollen. Sie gewähren noch aufserdem den Vortheil, dafs man ohne Nachtheil die Stellen, wo die Scheiben gehalten und wo sie mit dem Bogen gestrichen werden müssen, mit feinen, auf der polirten Fläche leicht sichtbaren, durchkreuzenden Linien oder Sternchen bezeichnen kann. Das Halten zwischen den Fingern, so bewundernswürdige Fertigkeit Chladni auch darin hatte, scheint ihm zu unbequem und er zieht daher eine eiserne Klemme mit einem hölzernen Handgriffe a vor, deren Schenkel etwa 4 Z. lang, drei Lin. dick, ebenso breit und am einen Ende mit einer Klemmschraube versehn seyn können, welcher am entgegengesetzten ein kurzer Cylinder gegenübersteht. Auf diesem liegt ein Tuchscheibchen von etwa zwei Lin. Durchmesser, und mit einem gleichen wird das kurze Cylinderstück bedeckt, welches das Ende der Feder bildet, in dessen Vertiefung die Spitze der Klemmschraube drückt; beide Scheibchen müssen von Sande frei gehalten werden, um auf den polirten Metallscheiben keine Risse zu erzeugen. Zum Bestreuen empfiehlt er feinen Quarzsand

Fig. 126.

1 G. LXXX. 205.

Digitized by Google

oder schwärzlichen magnetischen Eisensand, verwirft dagegen den Lycopodiumstaub insofern mit Recht, als ihm zunächst um die scharfen geometrischen Figuren, aber nicht um die durch FARADAY hervorgehobenen Erscheinungen zu thun ist. Als allgemeine Gesetze stellt STREHLKE auf, dafs die durch die Klangfiguren bezeichneten Linien stets krumme und eigentliche Linien, keine Flächen sind, auch sich nie durchschneiden. Um dieses zu beweisen, wird gezeigt, wie beim Aufstreuen von wenig Sand die durch CHLADNI gezeichneten geradlinigen Figuren durch schärfere Bezeichnung der eigentlichen Knotenlinien sich als krummlinig zeigen. Inzwischen erklärt sich CHLADNI[1] entschieden gegen diese Behauptungen, und betrachtet die gefundenen Abweichungen als Folge eines Mangels gleichmäfsiger Dichtigkeit und Dicke bei Metallscheiben, die deswegen weniger zu solchen Versuchen geeignet seyen. Dafs die Durchschnitte der Knotenlinien oft durch krumme Linien begrenzt sind, betrachtet er mit Recht als eine Folge der geringern Excursionen, welche die schwingenden Theile dort machen, die also den Sand nicht zu entfernen vermögen; überhaupt aber haben CHLADNI's Ansichten dieses *Problems* durch die Untersuchungen der Gebrüder WEBER in ihrer Wellenlehre eine solche Bestätigung erhalten, dafs man ihnen unbedingtes Vertrauen schenken kann. Der durch STREHLKE vorgeschlagene Halter findet zwar bei CHLADNI gleichfalls keinen Beifall, allein da nicht alle Experimentatoren eine gleiche Fertigkeit besitzen, als dieser geübte Akustiker, so glaube ich, dafs derselbe mit Recht Empfehlung verdient.

Inzwischen ist STREHLKE[2] in Folge seiner fortgesetzten Untersuchungen, ungeachtet dieses Widerspruches, keineswegs geneigt, seine aufgestellten Behauptungen zurückzunehmen, jedoch giebt er zu, dafs Glasscheiben den Metallscheiben an Tauglichkeit zur Auffindung der eigentlichen Knotenlinien mindestens sehr nahe kommen. Nicht mit Unrecht sucht er vorzüglich zu vermeiden, dafs der Sand durch irgend eine Klebrigkeit an Stellen der Scheiben haften bleibe und dadurch die Entstehung der scharfen Linien hindere. Aus dieser Ursache

---

1 G. LXXXI. 345.

2 Poggendorff's Ann. XVIII. 198. Vergl. XXIV. 537.

räth er die Glasscheiben mit Blattgold zu überziehn oder mit einem sehr dünnen Ueberzuge von Schellackfirnifs, oder ihre Oberfläche fein matt zu schleifen, was auch bei Metallscheiben vortheilhaft ist. Aufserdem müssen die mit den Fingern berührten Stellen sorgfältig wieder gereinigt werden, auch darf von dem möglichst gleichmäfsig aufgestreuten Sande keine gröfsere Menge vorhanden seyn, als dafs 3 bis 4 Körnchen auf die Quadratlinie kommen. Endlich soll sogar ein ungleich starkes Festhalten der Scheiben zwischen den Fingern oder zwischen den Schenkeln der Klemmschraube die Gestalt der Figuren so bedeutend abzuändern vermögen, dafs es kaum möglich sey, die nämliche Figur mehrmals nach einander zu erzeugen, was nothwendig ist, wenn ihre Dimensionen genau gemessen werden sollen. Strehlke hat daher seine Versuche blofs auf die einfachsten Figuren beschränkt, die auf Quadratscheiben entstehn, wenn sie in einem oder mehrern Puncten auf den Spitzen der Fingern ruhn. Dieses wird unter andern bewerkstelligt, wenn man die Scheibe in den Fig. 127. Puncten E, C, D mit dem Daumen, Zeigefinger und dem fünften Finger unterstützt und mitten zwischen D und F vertical mit dem Bogen streicht, worauf jederzeit die gezeichnete, aus zwei hyperbolischen Curven bestehende Figur zum Vorschein kommt, deren Hauptaxe AB ist, womit ihre Asymptoten einen Winkel gröfser als 45° einschliefsen. Unter der Voraussetzung, dafs die Gleichung der Curve sey

$$y^2 = px + qx^2,$$

versuchte er die Werthe von p und q durch Messung aufzufinden, woraus eine hinlängliche Uebereinstimmung der Theorie mit der Erfahrung hervorging. Hiernach betrachtet er also die sonstigen zusammengesetzten Figuren als aus solchen hyperbolischen Curven bestehend, und dafs dieses für eine grofse Zahl derselben richtig sey, läfst sich bei der Genauigkeit der Versuche wohl nicht bezweifeln; ob aber hierdurch die aufgestellten Sätze in gröfster Allgemeinheit bewiesen sind, unterliegt immer noch einigem Bedenken.

33) Scheibenförmige, durch innere Steifheit elastische Körper müssen auch longitudinale Schwingungen haben können, wie schon daraus folgt, dafs bei dieser Art von Schwingungen elastischer Stäbe ihre Dicke keinen bedeutenden Einfluss ausübt und man durch Vermehrung der Breite bei Stäben

ed by Google

zu schmalen Rectangulärscheiben gelangt. Zugleich liegt es jedoch in der Natur der Sache, dafs es mühsam und schwierig seyn mufs, Scheiben von etwas beträchtlicher, nur etwa 2 Zoll betragender Breite in longitudinale Schwingungen zu versetzen, und bei gröfserer Breite ist dieses überall kaum möglich, da ohnehin eine nicht unbeträchtliche Länge hierfür unumgänglich nothwendige Bedingung ist. Savart[1] hat diese longitudinalen Schwingungen vorzüglich untersucht und gefunden, dafs dabei gewisse Theile der Scheiben sich verdichten, andere dagegen ausgedehnt werden, woraus dann in Absätzen Schwingungsknoten, wie bei den Längentönen der Stäbe, entstehn, wobei noch die merkwürdige Eigenthümlichkeit statt findet, dafs die Schwingungsknoten auf beiden Seiten der Scheiben entgegengesetzt wechseln, indem da, wo auf der einen Seite sich der Sand anhäuft, er auf der entgegengesetzten zerstreuet wird. Biot[2] hat die hierbei entstehenden Verdichtungen auf eine interessante Weise dadurch sichtbar gemacht, dafs er den polarisirten Lichtstrahl durch solche schwingende Scheiben fallen liefs und dann eine Verdunkelung des Lichts durch die verdichteten Stellen wahrnahm. Am einfachsten werden diese Schwingungen bei Anwendung desjenigen Verfahrens wahrgenommen, welches die Gebrüder Weber[3] angegeben haben. Man klemmt nämlich einen gegen zwei Fufs langen Glasstreifen zwischen zwei Korkstückchen in einen Feilkloben, hält ihn vermittelst des letztern horizontal, reibt ihn am einen Ende mit einem wollenen Läppchen auf die bei Stäben gewöhnliche Weise und streuet Sand darauf, dann ordnet sich dieser über 4 oder 5 sammelnden Querlinien. Merkt man die Stellen derselben, dreht dann den Streifen um und verfährt wie vorher, so ergiebt sich, dafs die dann gleichfalls gebildeten Knotenlinien in die Zwischenräume zwischen den ersteren fallen. Selbst auch verzogene Linien werden auf diese Weise erhalten, welche gleichfalls auf beiden Seiten eine entgegengesetzte Lage haben und daher sehr genau mit den bei Stäben sich zeigenden gewundenen Linien übereinkommen. Die auf diese Weise erzeugten

---

1 Ann. Chim. Phys. XIV. 116.
2 Ann. Ch. Phys. XIII. 151. G. LXV. 26.
3 Wellenlehre S. 562.

Digitized by Google

Töne sind zwar sehr hoch, können aber nicht durch Schwingungen derjenigen Längen, welche durch die Knotenlinien bezeichnet werden, entstanden seyn und es müssen letztere daher gleichfalls secundären, nicht für sich hörbaren Schwingungen zugehören.

Savart, welcher bei seinen schätzbaren Untersuchungen der Schwingungsgesetze elastischer Körper das unverkennbare Bestreben zeigt, Chladni's Verdienste um die Aufklärung ebendieser Probleme als mangelhaft darzustellen, konnte die Längentöne an einem Stabe, dessen eines Ende eingeklemmt ist, die man sehr passend mit den Luftschwingungen in einer oben verschlossenen Röhre vergleicht, nicht hervorbringen, allein ihre Existenz ist genügend dadurch erwiesen, dafs Chladni sie in der Anwesenheit Gilbert's[1] hervorbrachte, und zwar nicht blofs den einen Grundton, sondern auch den zweiten durch die Bildung noch eines Schwingungsknotens. Sie sind jedoch weit schwieriger zu erhalten als die der freischwebenden Stäbe und erfordern, dafs der Stab sehr fest in einen Schraubstock eingeklemmt werde, weswegen sich hölzerne und metallene Stäbe mehr hierzu eignen als gläserne, welche letztere in eine metallene Fassung oder in ein Stück Holz fest eingekittet seyn müssen, um dem starken Drucke des Schraubstocks zu widerstehn; bei allen aber ist wohl nothwendig, ihnen eine verticale Richtung zu geben, weil sonst die Schwankungen das Entstehn der Töne hindern. Es ist sonach nicht minder schwierig, lange Streifen oder Bleche dann zum Tönen zu bringen, wenn sie an einem Ende oder gar an beiden befestigt sind, auch bietet diese Art des Verfahrens nicht viel Interesse dar, weil man die eigenthümliche Beschaffenheit dieser Schwingungen nicht wohl erkennen kann, und die Untersuchungen beziehn sich daher in der Regel nur auf die Schwingungen freigehaltener Streifen.

Die Glasstreifen, deren sich Savart zu seinen Versuchen bediente, waren von 6 Fufs bis 6 Zoll lang, und bei den kurzen ist erforderlich, dafs sie nur hinlänglich schmal und dünn sind. Am besten hält man sie in der Mitte zwischen den Fingern und reibt das eine Ende auf die mehrmals

1 Dessen Ann. LXVIII. 162.

Digitized by Google

angegebene Weise. Der Ton, welcher dann zum Vorschein kommt, ist gleichfalls der tiefste des Streifens; wenn man letztern jedoch am vierten, sechsten oder achten Theile von seinem Ende an festhält, so giebt er die Octave, dann die Quinte, und demnächst noch eine Quarte, die Töne folgen also wie die natürlichen Zahlen 1, 2, 3, 4, oder, wenn der erste eingestrichen c genannt wird, so ist ihre Reihenfolge $\overline{c}$, $\overline{\overline{c}}$, $\overline{\overline{g}}$, $\overline{\overline{\overline{c}}}$, jedoch lassen sich alle diese vier Töne nur mit 6 Fufs langen Streifen erzeugen. Uebrigens erhält man die Längentöne auch dann namentlich bei Metallstreifen, wenn man sie frei schwebend hält und gegen ihr eines Ende mit einem harten Körper schlägt, oder noch besser, wenn man an ihr eines Ende in der Mitte und mit ihren Rändern parallel laufend ein kleines Glasröhrchen klebt und dieses mit einem nassen Läppchen reibt. Auf diese Weise lassen sich breitere Streifen und selbst Scheiben in longitudinale Schwingungen versetzen; die Töne bleiben unverändert, wenn das Röhrchen sehr klein ist, werden aber mit zunehmender Gröfse desselben tiefer, auch rücken die Knotenlinien in gleichem Verhältnisse weiter auseinander. Die beiden zuletzt angegebenen Arten, die Längentöne zu erzeugen, geben die Sandfiguren an beiden Enden der Streifen, die dann nicht auf der ganzen Oberfläche gleichmäfsig vertheilt erscheinen können, wenn man eins der Enden zwischen den Fingern reibt; jedoch genügt es auch, blofs die untere Seite der Streifen zu streichen. Die Knotenlinien fallen übrigens auch dann auf beiden Seiten in die gegenseitigen Zwischenräume, wenn der Streifen mit einem schräg gehaltenen Stabe mehr gegen die eine als gegen die andere Fläche geschlagen wird, so dafs also in dieser ungleichen Vertheilung des Stofses der Grund dieser Erscheinung nicht liegen kann; auch ersieht man deutlich aus der gleitenden Bewegung des Sandes, dafs die Knotenlinien den Längenschwingungen und keinen transversalen zugehören. Am leichtesten erhält man die Figuren auf schmalen und dünnen Streifen, indefs geben auch solche, die die doppelte Dicke haben, den nämlichen Ton, aber eine geringere Anzahl Querlinien, woraus hervorgeht, dafs auf gleiche Weise, als bei Stäben, die zum Vorschein kommenden Kno-

Digitized by Google

tenlinien zum Theil oder insgesammt secundären Schwingungen zugehören. Savart will ferner bemerkt haben, dafs die longitudinal schwingenden Streifen da, wo sie ungefähr in der Mitte zwischen den Fingern gehalten werden, beim Tönen an Dicke zunehmen, woraus zu folgen scheint, dafs an dieser Stelle der eigentliche, den Ton bedingende Schwingungsknoten liegen mag. Streifen von 25 Zoll Länge, 1,3 Lin. Dicke und 0,5 bis 0,75 Zoll Breite zeigen gerade Knotenlinien, ungefähr von der Art und Anzahl, wie sie zu mehrerer Deutlichkeit in der Zeichnung für die eine Oberfläche angegeben sind, solche aber, die bei gleicher Länge und Dicke eine gröfsere Breite haben, geben gekrümmte Knotenlinien, die bei 1,5 Zoll Breite auf der einen Fläche so wie in A und nach dem Umkehren so wie in B gestaltet sind. Wählt man Streifen von der nämlichen Länge und Dicke, aber von einer 2 bis 2,25 Zoll erreichenden Breite, so zeigen sich auf den beiden Flächen gekrümmte Linien, gleichfalls von verschiedener Lage, ungefähr denen gleich, die in der Zeichnung ausgedrückt sind. Diesen gleichen im Allgemeinen diejenigen Figuren, die auf zunehmend kürzeren und breiteren Streifen zum Vorschein kommen, denn selbst auf quadratischen sind sie diesen ähnlich, wenn man sie vermittelst eines kleinen Röhrchens erzeugt. Die Zeichnung giebt auch hiervon eine genäherte Darstellung. Auf welche sonstige Weise aber Längenschwingungen starrer elastischer Körper erzeugt werden können, wird in einem folgenden Abschnitte (C) näher untersucht werden.

Fig. 128. Fig. 129. Fig. 130. Fig. 131.

Das physische Verhalten tönender elastischer Scheiben ist durch die mitgetheilten Untersuchungen Chladni's und anderer Gelehrten in einem hohen Grade der Vollständigkeit aufgefunden worden, allein eine genügende geometrische Theorie hat man bisher zu erhalten noch nicht vermocht. Gleich nach Bekanntwerdung der merkwürdigen Versuche Chladni's unternahm Jac. Bernoulli[1] einen analytischen Ausdruck für die Gesetze dieser Schwingungen theoretisch aufzufinden, indem er sich namentlich eine quadratische Scheibe als ein netzför-

1 Nov. Act. Ac. Petrop. Ann. 1787. T. V. p. 197. Eine Abhandlung über die Schwingungen der Scheiben im Allgemeinen von Dan. Bernoulli findet man in Comm. Pet. T. XII. p. 105 u. 167.

Digitized by Google

niges Gewebe von Fasern dachte, die einander rechtwinklig durchkreuzen, allein diese Vorstellungsart ist schwerlich zulässig und auf jeden Fall stimmen die erhaltenen Resultate nicht mit der Erfahrung überein. Als 1809 die Versuche Chladni's bei den Mitgliedern des französischen Institutes, namentlich de la Place, so grofse Aufmerksamkeit erregten, dafs sie den Kaiser Napoleon vermochten, zwei Stunden lang sich dieselben vorzeigen und erläutern zu lassen, und dafs er aufserdem 6000 Fr. als Remuneration für diesen Gelehrten anwies, um eine französische Uebersetzung seiner Akustik zu besorgen, setzte das Institut einen Preis von 3000 Fr. für eine analytische Auflösung des Problems der Schwingungen elastischer Scheiben fest, und nachdem dieselbe Aufgabe zweimal vergebens wiederholt worden war, wurde 1816 der Preis einer Abhandlung der Demoiselle Germain ertheilt, der einzigen, die dem Institute überreicht worden war, und worin sich wenigstens eine richtige Differenzialgleichung und einige neue Untersuchungen befanden[1]. Später hat auch Poisson[2] seine Untersuchungen der Schwingungen elastischer Körper auf Scheiben, namentlich quadratische, ausgedehnt, ohne jedoch das Problem in seinem ganzen Umfange vollständig zu lösen.

34) Ein ähnliches Verhalten, als dasjenige, welches oben §. 20. rücksichtlich der Stäbe zur Untersuchung gekommen ist, zeigen auch die Scheiben, wenn sie zu Glocken gebogen sind, mit dem Unterschiede, dafs im letztern Falle blofs die einfachsten Schwingungen runder Scheiben, wobei die Knotenlinien sich in der Mitte schneiden, zum Vorschein kommen, indem mindestens noch nicht factisch dargethan worden ist, dafs auch die übrigen vielfachen Schwingungen runder Scheiben bei Glocken erzeugt werden können. Wird eine Glocke an irgend einer Stelle angeschlagen, so erhält sie 4 um 90° von einander abstehende Knotenlinien, die sich im Knopfe derselben schneiden, wobei die den Knopf oder Stiel (die Handhabe, den Griff) umgebenden Theile ruhn, und der erhaltene Ton ist, wie bei Scheiben, der tiefste, den die Glocke geben kann. Dafs diese vier (oder zwei ganz durchgehenden, in der Mitte sich durchkreuzenden) Knotenlinien wirklich bei diesem

---

1 Chladni neue Beitr. zur Akustik S. 8.
2 Mém. de l'Institut. T. VIII. p. 523.

durch Anschlagen derselben erzeugten Tone vorhanden sind, ersieht man sehr deutlich daraus, dafs jede Glocke den nämlichen Ton giebt, wenn man sie frei gehalten mit einem Violinbogen in der Richtung ihres Durchmessers streicht, oder wenn man sie an einer Stelle ihres Randes oder an zwei um 180° oder an vier um 90° von einander entfernten Stellen schwach mit der Fingerspitze berührt und jedesmal in 45° Abstand von einer der berührten Stellen mit einem Violinbogen in der Richtung ihres Durchmessers streicht. Dünne, möglichst gleichmäfsig dicke gläserne Glocken mit mattgeschliffenem Rande, wie man sie für Luftpumpen gebraucht (jedoch ohne Wulst), zeigen dieses ebenso leicht, als bestimmt. Bei diesen Tönen müssen also zwei einander gegenüberstehende Quadranten gleichzeitig nach innen und die beiden andern nach aufsen gebogen werden und vermöge des schnellen Wechsels dieser Lagen den Ton erzeugen. Diese Bebungen lassen sich sichtbar machen, wenn man ein kleines Knöpfchen Siegellack an einem feinen Faden herabhängend mit der innern Fläche der Glocke in Berührung bringt, indem es dann an den schwingenden Stellen hüpft, an den ruhenden aber unbewegt bleibt, jedoch lassen sich die letztern bei frei gehaltenen Glocken nicht leicht auffinden, vielmehr scheint es bei diesen, wenn sie grofs, d. h. 10 bis 14 Zoll weit, dabei dünn und nicht durchweg gleichmäfsig dick sind, als ob das Hüpfen des Knöpfchens überall, wenn gleich stellenweise in leicht unterscheidbarer gröfserer oder geringerer Stärke, statt fände. Ist die Glocke bis zu irgend einer beliebigen Höhe mit Wasser gefüllt, so lassen sich die Wellen zwar nicht beim blofsen Anschlagen, wohl aber durch Streichen mit einem Violinbogen auffallend deutlich darstellen, ein Versuch, welcher ebenso leicht und interessant ist, als die Erzeugung der Sandfiguren auf Scheiben. Auch hierzu sind kleine Campanen der Luftpumpen von 1,5 bis 2 Zoll Durchmesser und 3 bis 4 Zoll Höhe mit einem kleinen Knopfe und mattgeschliffenem Rande vorzüglich geeignet, jedoch kann man auch gewöhnliche Bier- oder Weingläser dazu benutzen. Die wellenerzeugenden schwingenden Stellen unterscheiden sich dann sehr deutlich von den ruhenden und die Wasserfläche zeigt beide genau so, wie die Zeichnung angiebt. Hierbei tritt der beachtenswerthe Umstand ein, dafs der Ton zunehmend tiefer wird, je höher

Fig. 132.

Fig. 133.

Digitized by Google

das Wasser in ihnen steigt, man mag ihn durch blofses Anschlagen oder durch Streichen mit einem Violinbogen erzeugen, und wenn der einmal vorhandene etwas anhält, die Glocke aber während dieser Zeit in eine schräge Lage gebracht wird, so geht der Ton allmälig zu einem bedeutend tiefern über. Weil aber die 4 Schwingungsknoten allezeit vorhanden sind, der Wasserstand sey niedrig oder hoch, und aufserdem der Ton nicht sprungweise, sondern ganz allmälig mit zunehmender Wasserhöhe in einen tiefern übergeht, so kann dieser Unterschied nicht auf einer Verminderung der Zahl der Schwingungsknoten beruhen. Chladni, übrigens so vollständig in der Angabe aller, selbst geringfügiger Modificationen, erwähnt dieses Umstand nicht, und da es mir für den Augenblick an Zeit fehlt, diesen Gegenstand durch eigene weitere Versuche genügend aufzuklären, so finde ich die vorläufige Erklärung desselben in dem Umstande, dafs das berührende Wasser die Schnelligkeit der Schwingungen in eben dem Mafse hindert und langsamer macht, als seine Höhe zunimmt, weswegen dann die Töne im gleichen Verhältnisse tiefer werden müssen[1]. Aufser den 4 Schwingungsknoten können deren auch 6 oder 8, allgemein $2n + 2$ erzeugt werden, so weit der Umfang der Glocke dieses gestattet, wenn man dieselbe an

---

1 Ein Tieferwerden der Töne bei Glasröhren, die mit einer Flüssigkeit erfüllt vermittelst des Streichens mit einem Geigenbogen tönen, hat Savart Ann. Ch. Phys. XIV. 169. bemerkt, und zwar ist der Ton tiefer, wenn die Flüssigkeit specif. schwerer ist. Die Ursache einer allgemein bekannten Sache, nämlich dafs gefüllte Champagnergläser nicht klingen, finde ich gleichfalls nirgend erörtert, und theile daher auch hierüber dasjenige mit, was mir das Phänomen zu erklären scheint. Die hohen und langen Kelche dieser engen Gläser klingen überall schwer, insbesondere wenn sie etwas dick sind, weil die vier Schwingungsknoten einander nahe liegen und die Masse der in Schwingungen zu versetzenden Theile bis zum Boden hinab sehr grofs ist, weswegen auch diejenigen Gläser am schönsten klingen, welche einen dünnen Stiel mit geringer Dicke des Kelches und einer der Halbkugel nahe kommenden Gestalt vereinigen. Die an sich schwer klingenden Champagnergläser werden noch weniger tönend, wenn irgend eine Flüssigkeit, also nicht blofs der moussirende Wein, die Schwingungen erschwert, sobald aber die an die Wandungen sich anlegenden Luftblasen mit tropfbaren berührenden Flüssigkeiten wechselnd die Schwingungen noch mehr erschweren, müssen sie dann gänzlich zu tönen aufhören.

ed by Google

einer oder einigen hierzu geeigneten Stellen leise berührt und ungefähr in der Mitte eines schwingenden Theiles streicht. Ist die Oberfläche des Wassers mit einer dünnen Lage Hexenmehl (*semen lycopodii*) bestreuet, so werden die Wellen durch die Anordnung dieser Substanz und die entstandenen Figuren noch sichtbarer.

Hiermit ist eigentlich das Verhalten tönender Glocken oder glockenförmiger Körper (der Gläser, Tassen, Töpfe u. s. w.) vollständig angegeben, und es können demnach nur noch diejenigen Umstände erörtert werden, welche dieses allgemeine Gesetz modificiren. Wird der Rand einer Glocke, wozu sich jedoch blofs gläserne (*Harmonica-Glocken*) oder porzellanene eignen, indem andere nur mit Leder oder einer sonstigen Substanz und Colophonium zum Tönen gebracht werden, mit nassen Fingern gerieben, während sie auf einer Axe befestigt umlaufen, so entstehn gleichfalls die vier Knotenlinien, und man kann sie daher gleichzeitig entweder an einer oder an mehrern Stellen reiben, jedoch blofs an solchen, wohin Knotenlinien fallen, also in 90°, 180° und 270° Abstand. Findet an einer andern Stelle eine Reibung statt, so tönt die Glocke entweder gar nicht, oder es entsteht ein anderer verschiedener Ton, sobald die Reibungen in andern, symmetrisch geordneten Knotenlinien statt finden. Die leichteste und daher auch gewöhnlichste Abtheilung durch vier Schwingungsknoten findet auch dann statt, wenn eine Glocke etwas unter ihren Rande in der Richtung ihres Umfanges mit einem Violinbogen gestrichen oder mit nassen Fingern gerieben wird, und allzeit befindet sich an der gestrichenen Stelle dann ein Schwingungsknoten, statt dafs beim Streichen in der Richtung des Durchmessers ein Schwingungsbogen entsteht. Geschieht nämlich das Streichen in der Richtung m n, so geht die Form der Glocke abwechselnd in f p und g q über, und die Knotenlinien laufen ohne Unterbrechung stets in gleichen Abständen von einander um den ganzen Umfang der Glocke.

Fig. 134.

35) Die regelmäfsige genaue Abtheilung der Glocken durch die vier Schwingungsknotenlinien erfolgt aber blofs dann, wenn dieselben überall von gleichmäfsiger Dicke sind; widrigerfalls werden jene ungleich und es entstehn, wie dieses bei gröfsern und kleinern Scheiben, beide als gleich betrachtet, der Fall seyn würde, je nach der Stelle, wo sie angeschlagen oder ge-

Digitized by Google

strichen werden, ungleich hohe Töne. Es läfst sich dieses bei einem Glase oder einer Tasse mit einem Henkel nachweisen, indem letzterer dann entweder mitschwingt oder ruht, und hierdurch die Höhe des Tones abändert, wobei der Unterschied einen halben Ton betragen kann. Bei Harmonica-Glocken ist der Unterschied der Tonhöhe zwar geringer, aber doch so merklich, dafs dadurch ein unangenehmes Mitklingen eines nahe gleichen Tones erzeugt wird, wodurch dann die später zu erörternden Stöfse entstehn. Ebendieses findet sich bei manchen Glocken, namentlich denen auf Thürmen, wo man jedoch durch genaue Aufsuchung der Stellen, an die der Klöppel schlagen mufs, die Entstehung der unrichtigen Töne vermeiden kann. Ist eine Glocke in der Richtung ihres Umfanges geborsten, so können die Theile an beiden Seiten des Risses schwingen und die Möglichkeit eines Fortbestehns ihres Tones ist vorhanden, wenn auch derselbe minder hell ist, geht aber der Rifs nach der Länge der Glocke, so fällt die offene Stelle entweder in eine Knotenlinie oder in eine schwingende Abtheilung; im erstern Falle fehlt die erforderliche Steifheit, im letztern stofsen die offenen Theile gegen einander, die Schwingungen können nicht regelmäfsig statt finden und der Ton bleibt daher in der Regel ganz aus oder er ist in seltenen Fällen mindestens rauher, kurz man hört ein blofses Geräusch, ein Klappern, aber keinen Ton, zu dessen Entstehn die erforderlichen Bedingungen fehlen. Geht der Rifs nicht tief, so kann der Fehler verbessert werden, wenn man unter dem Risse ein Loch bohrt und bis in dieses herab ein dreieckiges Stück aussägt, wodurch aber der Ton in Folge des erweiterten Umfangs tiefer wird. Wenn hinlänglich grofse und gleichmäfsig dicke Glocken durch das bereits angegebene Verfahren vermittelst der Knotenlinien in 4, 6, 8, 10 u. s. w. Theile getheilt werden, so stehn die alsdann entstehenden Töne im Verhältnifs der Quadrate von 2, 3, 4, 5, und heifst also der tiefste Ton, welcher 4 Knotenlinien zu-

gehört, ungestrichen c, so sind die andern $\overline{d}$, $\overline{\overline{c}}$, $\overline{\overline{gis}}$. Zur Bestimmung der verhältnifsmäfsigen Menge der Schwingungen ähnlicher Glocken giebt Chladni in Gemäfsheit der für schwingende Stäbe aufgestellten Grundsätze an, dafs

$$N = \frac{n^2 D}{L^2} \sqrt{\frac{\varrho}{\delta}}$$

ist, worin n eine constante Zahl der Schwingungen, L den Durchmesser, D die Dicke, ϱ die Rigidität der Masse und δ die Dichtigkeit oder das spec. Gewicht bezeichnen (§. 15). Bei Glocken aus einerlei Materie sind also die Töne im geraden Verhältnisse der Dicke höher und im quadratischen der Durchmesser tiefer. Theoretische Untersuchungen über tönende Glocken haben L. Euler[1] und Golowin[2] angestellt, allein die erhaltenen Resultate stimmen nicht genau mit den von Chladni durch Erfahrung gefundenen überein.

Es verdient hier noch eine interessante Thatsache mitgetheilt zu werden, welche Streulke[3] aufgefunden hat. Wenn man ein gewöhnliches cylindrisches Trinkglas befeuchtet, dann inwendig und auswendig mit feinem Sande überzieht, welcher leicht darauf haften bleibt, und mit einem Geigenbogen streicht, so entstehn inwendig vier Streifen, die mit ihren Spitzen von den breitern untern Theilen auslaufend bis an den Rand hinaufreichen. Auf der Aufsenseite entstehn gleichfalls Figuren, aber an denjenigen Stellen, die inwendig frei sind. Hierin zeigen also solche Gläser ein gleiches Verhalten, als Scheiben, die in Schwingungen versetzt werden.

B. Entstehung der Töne durch Schwingungen elastischer oder expansibler Flüssigkeiten.

36) Dafs tropfbare Flüssigkeiten zur Erzeugung des Schalles nicht geeignet sind, ist bereits oben (§. 6.) erwähnt worden; desto mehr ist dieses bei den elastischen oder expansiblen der Fall, deren Elasticität zwar nicht in einem solchen Grade der Stärke jeder Veränderung der Gestalt widersteht, als starre oder gespannte feste Körper in Folge ihrer Steifung dieses vermögen, die dagegen aber eine überwiegende Geneigtheit zur Erzeugung von Oscillationen in ihrem steten Bestreben

1 Nov. Comm. Soc. Pet. T. X. p. 261.
2 Acta Acad. Pet, Ann. 1781. T. II.
3 G. LXXX. 211.

Digitized by Google

nach Expansion besitzen und sich daher zur Erzeugung von Tönen vorzugsweise eignen. Es darf demnach mit Sicherheit angenommen werden, dafs bei weitem die Mehrzahl der Töne durch Schwingungen der Luft erzeugt werde.

Auf gleiche Weise, als durch einen einzelnen Stofs eines festen Körpers kein Ton, wohl aber ein Knall oder vielmehr ein Geräusch, erzeugt wird, ist dieses auch bei elastischen Flüssigkeiten der Fall, mit dem Unterschiede, dafs bei diesen noch leichter ein Knall, ein Getöse, zum Vorschein kommt, weil die gestofsenen Massen der Gasarten leichter fortdauernde unregelmäfsige, zum eigentlichen Tone ungenügende Wellen erzeugen, als feste Körper. Ein Knall entsteht daher, wenn die Luft schnell in einen leeren Raum stürzt, z. B. beim schnellen Oeffnen eines Pennals, beim Zerplatzen einer Blase oder eines Gefäfses durch den Luftdruck, beim schnellen Zertrennen der Luft vermittelst einer Peitschenschnur, beim Durchbruche eines elektrischen Funkens oder des Blitzes, jedoch geht im letztern Falle der Knall in eine Art von Ton über, wenn er von der Erde und geeigneten Gegenständen auf derselben, als Felsen, Bäumen u. dgl., oft und schnell reflectirt wird. Zur Erzeugung eines solchen Getöses ist nicht gerade das Vorhandenseyn eines absolut leeren Raumes erforderlich, sondern oft blofs der Stofs der verdichteten Gasarten gegen dünnere, wie sich deutlich beim schnellen Oeffnen eines Pennals zeigt. Aehnliche Erscheinungen kommen daher bei allen Explosionen, namentlich denen des Schiefspulvers, der Knallsalze, der detonirenden Mischungen, beim Verbrennen des Knallgases, dem Zerplatzen der Dampfkessel u. s. w. vor, wobei eine Masse verdichteter elastischer Flüssigkeiten plötzlich in dünnere Luft eindringt, meistens aber durch augenblickliche Verdichtung einen minder erfüllten Raum erzeugt, in welchen die umgebenden Luftschichten hineinstürzen.

Bei weitem in den meisten Fällen ist die atmosphärische Luft derjenige elastische Körper, welcher Töne erzeugt, und sie dient daher als Norm bei der Demonstration der hierbei herrschenden Gesetze, ebenso wie in der Pneumatik. Es wird daher der Kürze wegen bei den folgenden Untersuchungen blofs von der Luft die Rede seyn und nur später noch eine Anwendung auf einige Eigenthümlichkeiten anderweitiger gasförmiger Körper gemacht werden.

37) Ein blofser Luftstrom, ein Fliefsen der Luft durch eine Oeffnung in den freien Raum oder in einer Röhre, erzeugt keinen Schall, und wenn gleich beim Pfeifen mit dem Munde oder andern pfeifenden Tönen, bei denen die Luft durch ein enges Loch strömt, dieses der Fall zu seyn scheint, so gewahrt man doch bei näherer Untersuchung bald, dafs hierbei noch andere Bedingungen mitwirken, denn namentlich hört das Pfeifen mit dem Munde auf, wenn man ein gläsernes oder metallenes Röhrchen zwischen die Lippen nimmt, und wenn auch hierbei, wie beim Strömen des Windes durch enge Oeffnungen, ein pfeifendes Geräusch entsteht, so ist dieses die Folge der Bebungen, worin die Ränder oder inneren Theile der Röhren und Oeffnungen versetzt werden und die sie dann der Luft mittheilen, wie dieses bei der Betrachtung der durch Luftschwingungen tönenden Instrumente näher nachgewiesen wird. Die Töne durch Luft entstehn vielmehr ganz eigentlich vermittelst der Schwingungen, worein diese Flüssigkeit geräth, und zwar sind diese longitudinale, indem weder transversale noch drehende bei der Beweglichkeit oder grofsen Flüssigkeit der Luft entstehn können. Wie bei starren Körpern bestehn diese Schwingungen in wechselnden Verdichtungen und Verdünnungen, die nach der Länge fortgehn und wieder zurückkehren, wodurch auch in der Luft Schwingungsknoten entstehn, deren Bildung wir uns auf gleiche Weise vorstellen müssen, als dieses bei festen Körpern §. 17. erläutert wurde.

Das Verhalten der Luft bei der Erzeugung der Schallwellen ist nach einigen frühern Bemühungen, namentlich von Sauveur [1], hauptsächlich untersucht worden durch Dan. Bernoulli [2] und L. Euler [3], deren gründliche Forschungen von allen spätern Gelehrten benutzt wurden; eine klare Uebersicht des Problems aber findet man in den Werken von Biot [4] und von den Gebrüdern Weber [5], denen ich in der hier mitzutheilenden Darstellung hauptsächlich folge.

---

1 Mém. de l'Acad. 1701.
2 Mém. de l'Acad. de Paris. 1762.
3 Nov. Comm. Pet. T. XVI. p. 335.
4 Traité de Phys. exper. et math. T. II. p. 110.
5 Wellenlehre S. 481.

Digitized by Google

38) Wenn man das Pfeifen mit dem Munde, den Ton kleiner Jagdpfeifen und der Mundstücke mancher Instrumente berücksichtigt, so scheint zu folgen, dafs Schallwellen von beträchtlicher Breite auch im freien und unbegrenzten Raume statt finden können, indem dieses namentlich in Beziehung auf die beträchtlich tiefen Töne beim Pfeifen mit dem Munde nothwendig anzunehmen wäre, für welche der kurze Raum zwischen den Lippen nicht genügt. Es wird jedoch in der Folge gezeigt werden, dafs einmal erzeugte Wellen allerdings im freien Raume fortgehn können, im Allgemeinen aber wird ihre Breite durch die Länge der Röhren, in denen die schwingende Luftsäule eingeschlossen ist, und deren aliquote Theile auf gleiche Weise bedingt, als dieses bei transversalen und longitudinalen Schwingungen der Stäbe statt findet. Um aber das Ganze leichter zu übersehn, mögen erst folgende allgemeine Sätze vorausgeschickt werden.

a) Wenn wir uns die durch Verdichtungen und Verdünnungen entstehenden Luftwellen denen ähnlich denken, die aus den Erhebungen und Vertiefungen der Flüssigkeiten bestehn, so giebt es auch bei jenen verdichtende und verdünnende Wellen, Wellenberge und Wellenthäler, die in ihrer Bewegung einander entgegengesetzt sind, indem die einen rückwärts sich bewegen, wenn die andern vorwärts schreiten; wo beide einander begegnen, so dafs ein Stillstand eintritt, heben sie sich auf und es entsteht ein Schwingungsknoten.

b) Die Geschwindigkeit, womit die Wellen in der nämlichen Art einer elastischen Flüssigkeit sich bewegen, ist stets sich selbst gleich, die Röhre sey weit oder enge und die Ursache ihrer Erzeugung, welche sie wolle; der Unterschied beruht also blofs auf der Breite der Wellen oder der Länge des Raumes, bis wohin die verdichtende oder die verdünnende Welle fortschreitet, bis sie umkehrt oder in die entgegengesetzte verwandelt wird, und diese Breite der Wellen als Ursache der Tonhöhe wird bedingt theils durch die Länge der Röhre uud das Verhältnifs der aliquoten Theile, worein sie sich theilen kann, theils durch die Ursache, welche die Wellen erzeugt, indem die Fortschreitung der Welle um so viel länger dauern mufs, je anhaltender die sie erzeugende Ursache auf sie einwirkt.

c) Denken wir uns die Schallwellen der Luft wie die

Digitized by Google

Wasserwellen und substituiren wir sonach den Verdichtungen und Verdünnungen von jenen die Erhöhungen und Vertiefungen von diesen, so bildet der Raum von einer Erhöhung zur andern a b oder, was einerlei ist, vom tiefsten Puncte bis wieder zur gröfsten Tiefe c d eine Wellenbreite[1]. Legt man in die tiefsten Puncte c und d eine horizontale Linie r s, so giebt diese in α und β die Stellen an, welche die in a und b befindlichen Theile bei einer abermaligen Oscillation erreichen werden, während c und d nach γ und δ gelangen. Die horizontale Linie m n giebt den mittleren Stand aller dieser Puncte an und schneidet die Wellen-Curve in den Puncten p und q, die vom höchsten und tiefsten Puncte um den vierten Theil der ganzen Wellenbreite abstehn. Hier befindet sich also der Punct der Ausgleichung, wo noch keine Wellenbewegung statt findet, und jede aus dem Zustande der Ruhe beginnende Welle mufs also im vierten Theile der ganzen Wellenlänge oder in der Hälfte zwischen dem höchsten und tiefsten Puncte anfangen. Die Gebrüder Weber haben eine sehr bequeme Bezeichnung für die Verdichtungen und Verdünnungen der Wellen, die Wellenberge und Wellenthäler in der Luft gewählt, indem sie beide durch eine linsenförmige Figur anschaulich machen, die für die erstern Querstriche enthält, für die letztern aber blofs aus einer punctirten Begrenzung besteht. Hierbei versteht sich von selbst, dafs die verdichtende Welle beim Rückgange der Oscillation zu einer verdünnenden wird.

Fig. 135.

Fig. 136.

Nehmen wir daher die wechselnden Stadien der Wellen, so wird im ersten Zeittheile die verdichtende Welle von gegebener Länge den Raum von a bis b durchlaufen und beim An-

---

1 Der Sprachgebrauch entscheidet nicht mit Bestimmtheit, ob man Wellenbreite oder Wellenlänge sagen solle, ohne dafs jedoch hieraus Mifsverständnisse erwachsen können, da allezeit der Raum von einem Schwingungsknoten bis zum andern verstanden wird, man mag dieses die Breite oder die Länge der Schallwellen nennen. Man kann daher den einen oder den andern dieser Ausdrücke gebrauchen, sobald von Schall- oder Lichtwellen gehandelt wird. Dafs übrigens zwischen den Schwingungsknoten successiv folgende Verdichtungen und ebenso Verdünnungen der Luft statt finden, die man gleichfalls Wellen nennen und von denen man den Ausdruck Breite und Länge nach Gefallen gebrauchen kann, ohne dafs jedoch diese Gröfse noch nicht einmal annähernd, wie beim Lichte, bestimmt ist, folgt aus der Natur der Wellen von selbst.

Digitized by Google

fange des zweiten Zeittheiles von b nach c fortschreiten, während gleichzeitig die verdünnende Welle von b nach a zurückläuft, im dritten Zeittheile geht die verdichtende Welle von c bis d, während die verdünnende von c nach b zurückläuft, die im zweiten Zeitraume aber bereits in a angekommene verdünnende wieder bis b gelangt, im vierten Zeittheile schreitet die verdichtende von d bis e fort, während von d nach c und von b nach a eine verdünnende, von b nach c aber eine verdichtende läuft. Es ergiebt sich hieraus, dafs im 1sten, 3ten, 5ten...., überhaupt im $(2n-1)$ten Zeittheile die verdichtenden Wellen die nämlichen Stellen einnehmen, worin sich im 2ten, 4ten, 6ten...., überhaupt im 2nten die verdünnenden befinden, dafs ferner im dritten Zeittheile die von c nach b fortschreitende verdünnende Welle der von a nach b gekommenen begegnet, wodurch im Berührungspuncte ihre Bewegung $= 0$ werden oder ein Schwingungsknoten entstehn mufs, dafs aber die in b von c aus angekommene verdünnende Welle mit der von b nach a zurückkehrenden verdünnenden zusammenfällt und mit ihr gemeinschaftlich nach a gelangt. Das nämliche abwechselnde Verhalten würde statt finden, wenn die erste in 1 angenommene Welle ab eine verdünnende wäre. Hat man daher eine an beiden Enden offene tönende Röhre, die hiernach in ihrer Mitte einen Schwingungsknoten erhält, so finden von hieraus nach beiden Seiten entgegengesetzte Schwingungen statt, die Welle ist in der einen Hälfte gleichzeitig verdünnend (rücklaufend), wenn sie in der andern verdichtend (fortschreitend) ist; man kann die eine negativ nennen, wenn die andere positiv heifst. Diesen wichtigen sogenannten *Bernoulli'schen Satz* hat Wheatstone[1] neuerdings factisch dargethan. Er bog eine bleierne Röhre von etwa 13 Z. Länge und 1 Z. Weite so kreisförmig, dafs die beiden offenen Enden einander gegenüber standen, und brachte zwischen diese eine tönende Glasscheibe, welche durch Streichen mit dem Geigenbogen die erste *Chladni'sche* Figur gab. Die hierdurch entstehenden Schwingungen wurden zwar der Luft in der Röhre mitgetheilt[2], mufsten sich aber als entgegengesetzt neutralisiren und gaben daher keine Resonanz. Die Röhre hatte aber

---

1 Poggendorff's Ann. XXVII. 446.
2 Vergl. §. 82.

Digitized by Google

in ihrer Mitte ein Gewinde, vermöge dessen jedes Ende unabhängig vom andern um die Axe der Röhre gedreht werden konnte. Wurde dann die Oeffnung jedes Endes über einen entgegengesetzt schwingenden Theil der Scheibe gehalten, so hörte man sehr deutlich das Mittönen der Luftsäule.

d) Wenn die in einer Röhre sich bewegende Welle gegen eine Wand stöfst, so wird sie zurückgeworfen und behält dabei ihre Beschaffenheit ohne Aenderung, sie bleibt also eine verdichtende oder verdünnende, je nachdem sie das eine oder das andere vorher war, kommt dagegen die Welle am offenen Ende der Röhre an, so hört der durch die Wände geleistete Widerstand auf, die Welle zerfliefst also und kehrt um, jedoch mit veränderter Beschaffenheit, indem aus der verdichtenden eine verdünnende wird und umgekehrt.

e) Da die Geschwindigkeit der Wellenbewegung in gleichartigen elastischen Flüssigkeiten stets die nämliche ist, so werden um so viel mehr Wellenschwingungen in einer gegebenen Zeit erfolgen, je geringer die Wellenbreite und je kürzer also die Zeit ist, welche jede einzelne Welle zum Durchlaufen ihres Raumes bedarf, wodurch also die Höhe des Tones bedingt wird. Hierbei kommt jedoch, blofs rücksichtlich der Tonhöhe, nicht aber des Klanges, die Weite der Röhre, die Beschaffenheit derselben, ob sie gerade oder krumm ist, und die Masse, woraus sie besteht, nicht in Betrachtung. Die Geschwindigkeit der Bewegung tönender Schallwellen ist übrigens derjenigen gleich, womit der Schall durch die nämliche Gasart fortgeleitet wird, und wenn man diese daher bei mittlerer Temperatur zu etwa 1030 par. Fufs in einer Secunde annimmt, so würde für die doppelte Breite einer Schallwelle = a die Zahl der Schwingungen[1] in 1 Secunde $N = \frac{1030}{a}$ seyn, wonach der jedesmal erzeugte Ton mit den durch andere schwingende Körper hervorgebrachten vergleichbar wird. Die Fortpflanzung des Schalles wird aber schneller mit der Erhöhung der Temperatur, und aus diesem Grunde stimmen alle Blasinstrumente in der Kälte tiefer, wer-

1 Eine Schwingung, so viel als ein ganzer Pulsus, ist der Hin- und Hergang von a bis b in der Zeichnung und wieder zurück, also von a bis c, weil die Welle in der nämlichen Zeit von b nach c fortschreitet, in welcher sie von b nach a wieder zurückläuft.

Digitized by Google

den dagegen höher, wenn die Temperatur steigt, was namentlich bei denen, die mit dem Munde geblasen werden, durch die Wärme der eingeblasenen Luft bewirkt wird.

39) Aeltere Versuche hatten bereits gezeigt, was auch aus den durch Biot und Hamel angestellten hervorgeht[1], dafs eine an beiden Enden offene Röhre, bei welcher an der einen Oeffnung durch irgend ein Mittel Schwingungen erzeugt werden, in der Mitte einen Schwingungsknoten erhält, und analog den Stäben haben solche Pfeifen dann den ihnen auf die einfachste Weise zukommenden tiefsten Ton. Diesen Fall auf die eben mitgetheilte Darstellung zurückgeführt hätte die Röhre die Länge a c und die Folge der Schwingungen wäre so, wie sie von 1 bis 4 für diese Länge gezeichnet ist. Heifst dann der Hin- und Hergang einer Welle eine einfache Schallschwingung und wird diese α, die Länge der Röhre l genannt, so ist $\alpha = l$ und $1'' : T = \alpha : l$. Werden in einer an beiden Enden offenen Röhre zwei Schwingungsknoten gebildet, so ist Fig. 137.

$$N N' = \alpha, \quad A N = \tfrac{1}{2}\alpha \text{ und } N' B = \tfrac{1}{2}\alpha,$$

mithin ist $l = 2\alpha$ und also ist $1'' : T = 2\alpha : l$, wonach also doppelt so viele Schwingungen in einer Secunde erfolgen und die höhere Octave gehört wird. Nimmt auf diese Weise die Zahl der Schwingungsknoten zu, wobei allezeit jedes der beiden offenen Enden $= \frac{1}{2}\alpha$ ist, so wird allgemein

$$n\alpha = l \text{ und } 1'' : T = n\alpha : l,$$

wonach dann die Töne, wenn man den genannten tiefsten durch 1 bezeichnet, wie die natürlichen Zahlen 1, 2, 3, 4 .. — n zunehmen. Ist dagegen die Röhre oben verschlossen, so entsteht in der Mitte kein Schwingungsknoten, die Welle ist also doppelt so lang, der Ton ist eine Octave tiefer. Hiernach wäre $\alpha = 2l$, es würde also $1'' : T = \alpha : 2l$ folgen und die Reihenfolge der Töne müfste durch die geraden Zahlen 2, 4, 6 .... 2n ausgedrückt werden, wie Daniel Bernoulli gethan hat; indefs ist die erste Art die gebräuchlichste und man darf dann nur annehmen, dafs bei gedeckten Pfeifen ihre Länge halb so grofs seyn mufs, wenn ein gleich hoher Ton zum Vorschein kommen soll, wodurch man beide Töne auf einander reduciren kann. Uebrigens existiren jene Töne allerdings in demjenigen Register der Orgeln, welches *Gedact* (eigentlich

1 Biot a. a. O. S. 120.

Gedeckt) genannt wird. Das weitere Verfolgen dieser Betrachtungen führt zu der Untersuchung der Töne, die durch gewisse Längen der Luftsäule entstehn, die jedoch erst dann klarer werden, wenn noch einige andere Bestimmungen vorausgegangen sind. Es möge daher hier vorläufig nur noch die Bemerkung Platz finden, dafs die Schwingungen anderer gasförmiger Körper im Allgemeinen den nämlichen Gesetzen unterliegen, die so eben in Beziehung auf die atmosphärische Luft nachgewiesen worden sind.

C. Entstehung der Töne durch Schallwellen, die durch andere Schwingungen hervorgebracht worden sind, oder über das Mittönen, die Resonanz.

39b) Es ist leicht begreiflich, dafs ein jeder der bisher betrachteten Körper aufser den den Schall erzeugenden Schwingungen noch auf vielfache andere Weise sich bewegen könne. Chladni[1] hat dieses ausführlicher nachgewiesen, als nöthig ist, und ein Verfahren angegeben, wie man unter vielen solchen möglichen Bewegungen namentlich zweierlei Arten, die den Ton erzeugenden und andere schwingende, vermittelst eines in einem Schraubstocke gespannten Stabes erzeugen könne, wodurch ähnliche Erscheinungen hervorgebracht werden, als diejenigen, welche Wheatstone vermittelst des *Kaleidophon's*[2] in gröfserer Eleganz erzeugt. Aufserdem ist bereits bei der Untersuchung der longitudinalen Schwingungen elastischer Stäbe §. 17. gezeigt worden, dafs aufser den tongebenden bei diesen gleichzeitig noch secundäre existiren, und es wird sonach aus der Analogie schon wahrscheinlich, dafs ähnliche auch in den Luftsäulen statt finden können, später aber wird gezeigt werden, dafs bei diesen zuweilen zweierlei tönende Wellen neben einander vorhanden sind. Von allen diesen gleichzeitigen Schwingungen möge hier nicht die Rede seyn, sondern blofs von denen, welche in einem andern, als dem eigentlich tönenden Körper, erzeugt entweder den bereits vor-

1 Akustik S. 212.
2 S. diesen Art. Bd. V. S. 811.
3 Mém. de l'Acad. T. II. p. 87.

Digitized by Google

handenen Ton modificiren oder selbst zur Erzeugung eines neuen dienen. Die hierher gehörigen Erscheinungen sind so ausnehmend zahlreich, dafs ich nur die wesentlichsten Arten derselben mitzutheilen beabsichtigen kann.

40) Tönende feste Körper setzen andere, mit denen sie verbunden sind, in gleichartige Schwingungen. Es war dieses schon seit langer Zeit bekannt, indem unter andern bereits Lahire[1] das Beben eines Strebepfeilers zu Rheims beim Läuten der grofsen Glocke, Huddlestone[2] aber den gegenseitigen Einfluſs der Saiten und selbst der Orgelpfeifen auf einander nachwies, und man entdeckte daher hierin die richtige Ursache der *Resonanz*. Die zahlreichen musikalischen Instrumente mit Saiten oder Stäben haben daher insgesammt oder mindestens die vorzüglichern ohne Ausnahme einen eigenen Resonanzboden, bei dessen Baue es vorzüglich darauf ankommt, durch hinlänglich trocknes und feinfaseriges, möglichst elastisches Holz, durch die erforderliche Gröfse und Dünne für alle Saiten ein dem Ohre angenehmes Mitklingen zu erzeugen. Chladni[3] giebt an, dafs nicht blofs eine Stimmgabel, deren Ton zuletzt unhörbar wird, wieder sehr vernehmlich zu klingen anfängt, wenn man ihren Stiel auf einen Resonanzboden stemmt, sondern dafs man auf letzterem sogar die einzelnen Stellen auffinden kann, wo sie auf einem Schwingungsbogen stehend vernehmlicher klingt, als auf einem Schwingungsknoten. Ein auffallender Beweis des bedeutenden Einflusses der mitklingenden Körper liegt in dem bedeutenden Unterschiede des Tones einer und derselben Stimmgabel, je nachdem sie auf einen festen Stein, ein massives Stück Holz, einen Resonanzboden, eine Eisenplatte, eine Glasscheibe u. s. w. gestützt wird. Maupertuis[4] meinte, damit ein Resonanzboden alle Töne verstärken könne, müsse er aus ungleich langen Fibern bestehn, damit jederzeit eine für den eigenthümlichen Ton geeignete in Schwingungen gesetzt würde, allein dieser Irrthum ist einem andern bereits gerügten[5] gleich, wo-

1 Mém. de l'Acad. T. II. p. 87.
2 Nicholson's Journ. T. I. S. 329.
3 Akustik S. 269.
4 Mém. de l'Acad. de Par. 1724.
5 Art. *Gehör*. Bd. IV. S. 1208.

nach auch die Fibern des Paukenfelles im Ohre vermöge ihrer ungleichen Länge jeden einzelnen Ton verstärken sollen; man weifs jetzt vielmehr, wie leicht alle Körper, so ungleich auch die durch ihre eigenen Schwingungen erzeugten Töne seyn mögen, durch Mittheilung in solche Schwingungen versetzt werden, die den bereits vorhandenen Ton verstärken. Von der gröfsern Vollkommenheit dieser Resonanz leitete man auch den Unterschied des Tones der Instrumente ab. Biot[1] sagt, der schöne Klang der alten italienischen Instrumente von Amati, Guarnerius (Stratuari) u. a. beruhe auf der Resonanz, die durch das hinlänglich trockne Holz erzeugt wird, welcher bleibt, wenn ein solches auch noch so oft auseinander genommen wird, statt dafs ein neues stets einen minder wohlklingenden Ton behält, wie genau dasselbe auch jenem nachgebildet seyn mag; allein ebenso altes und hinlänglich trocknes Holz ist allerdings wohl vorhanden, auch werden jetzt noch Instrumente verfertigt, die jenen alten mindestens sehr nahe kommen. Der Grund jener Vorzüge liegt aber noch tiefer.

Seit 1819 hat Felix Savart durch eine Reihe interessanter Versuche[2] die Gesetze des Verhaltens solcher Körper aufgefunden, deren einer mit einem andern bereits schwingenden in genauer Verbindung steht. Unter andern spannte er eine etwas starke Violinsaite auf ein dickes Bret über einen gewöhnlichen Geigensteg, dessen Füfse jedoch nicht auf dem Brete, sondern auf einer Bleiplatte ruhten, welche selbst unter diesen Füfsen durch zwei Stücke Holz oder Kork unterstützt war, und er erhielt dann beim Streichen der Saite auf der Bleischeibe Chladni'sche Klangfiguren, zum auffallenden Beweise, dafs selbst dieses so wenig elastische Metall durch die Vibrationen der Saite gleichfalls in Schwingungen versetzt wurde. Gab die Saite einen veränderten Ton, so kam auch eine andere Figur zum Vorschein. Hieraus folgte also unmittelbar, dafs auch der Steg, die Unterlagen der Platte und das Bret gleichzeitig mit der Saite schwingen mufsten, und dafs

---

1 Traité T. II. p. 184.

2 Ann. Chim. Phys. T. XII. p. 225. G. LXVIII. 113. Vergl. Sim. Stratico über die Verschiedenheit gleich hoher Töne in Mem. dell Imp. Re. Instit. del Regno Lomb. T. II. p. 171.

Digitized by Google

zwar die Höhe des Tones, zunächst nur durch die Schwingungsmengen der letzteren, die Art des Tones aber oder dasjenige, was oben *Klang* genannt ist, durch die Summe der Schwingungen aller mit ihr verbundenen Theile bedingt werde. Es ist demnach nicht weiter zweifelhaft, dafs hierin die Ursachen der Eigenthümlichkeiten der verschiedenen Töne zu suchen sind, insofern zwar die nämlichen Töne eines Hornes, einer Flöte, einer Geige u. s. w. eine gleiche Höhe, zugleich aber einen so verschiedenen Klang haben, dafs selbst ungeübte Ohren leichter ihre Unterschiede als geringe Abweichungen der Höhe wahrzunehmen vermögen. Dabei sind zwar diejenigen Schwingungen, in welche die mit dem eigentlich tönenden Körper verbundenen Substanzen versetzt werden, die ich mittelbar zur Unterscheidung von jenen unmittelbaren nennen werde, denen des eigentlich tongebenden analog; allein es ist doch dabei keinen Augenblick zu verkennen, dafs sie gleichzeitig durch die eigenthümliche Beschaffenheit dieser Körper bedingt werden müssen und also, obgleich für sich selbst nicht als tongebend wahrnehmbar, doch den erzeugten Ton zu modificiren vermögen. Savart verfertigte sich ferner zwei ganz gleiche Scheiben von der nämlichen Holzart, befestigte sie an den zwei Enden eines Stabes, strich die obere horizontal gehaltene und fand, dafs auf der untern dann die nämliche Figur als auf der obern zum Vorschein kam, ja es zeigte sich dieses Phänomen auf gleiche Weise auch dann, wenn mehrere solche Scheiben durch wechselnde verticale Stäbe verbunden waren; alle horizontale Scheiben zeigten die nämliche Figur, wenn eine derselben am Rande gestrichen wurde. Eine Anwendung hiervon auf den sogenannten Stimmstock in den Bogeninstrumenten ist leicht zu machen, auch begreift man den Grund, warum die Stelle desselben auf den Ton einen so bedeutenden Einfluss hat. Schon hieraus wurde es wahrscheinlich, dafs die in dem Stabe erzeugten Wellen longitudinale seyn mufsten, was durch spätere Versuche bestätigt worden ist. Bei der Prüfung der angegebenen Erscheinungen zeigte Le Blanc, dafs eine Glasröhre, vertical auf eine Scheibe gekittet und in longitudinale Schwingungen versetzt, auf der Scheibe Figuren erzeugt, welche eben so rein und bestimmt sind, als diejenigen, die unmittelbar durch das Streichen ihres Randes hervorgebracht werden. Auch diese Erscheinungen sind später durch Savart in ihrem gan-

Digitized by Google

zen Umfange untersucht worden, interessant aber ist die Folgerung, welche sogleich aus der ersten Auffindung derselben entnommen wurde, nämlich dafs man auf diese Weise Stäbe an den geeigneten Stellen der Harmonicaglocken befestigen und letztere dadurch zum Tönen bringen könne, ohne sie mühsam durch Abschleifen gleichmäfsig dick zu machen, um die Ungleichheiten des Tones zu beseitigen, die in Folge ungleichmäfsiger Dicke durch das Reiben ihres Randes beim Umdrehn um ihre Axe entstehn (§. 35.), woran sich die Idee reihte, dafs das geheim gehaltene *Euphon* von Chladni muthmafslich auf diesem nämlichen Principe beruhe. Nach den hierdurch aufgefundenen akustischen Grundsätzen verfertigte Savart selbst eine Geige, bei welcher alle Theile den theoretischen Bestimmungen der vollkommensten Consonanz gemäfs eingerichtet waren, und zwar mit geradem Deckel und Boden, weil die gekrümmten ein vielfaches verschiedenartiges Durchschneiden der Fibern zur Folge haben, desgleichen mit geraden Oeffnungen, statt der gekrümmten F Löcher. Nach dem Berichte der Commission, welche diese Geige durch Lefebvre, den Musikdirector des Theaters Feydeau, mit einer gewöhnlichen vorzüglichen vergleichen liefs, war dieselbe in der Nähe minder stark, was Savart von dem rauschenden Mittönen der gekrümmten Flächen ableitete, welches nur in der Nähe hörbar sey, in gröfserer Entfernung aber war ihr Ton ebenso stark und selbst noch wohlklingender[1].

41) Savart[2] hat diese Untersuchungen noch weiter ausgedehnt und als allgemeines Gesetz aufgefunden, dafs, wenn verbundene feste Körper auf einander lothrecht stehn, die longitudinalen Schwingungen des einen transversale im andern erzeugen und umgekehrt. Unter den verschiedenen Apparaten, wodurch sich dieses anschaulich machen läfst, besteht der eine aus einer dicken hölzernen Regel B, auf welche ein Becher A′ am einen Ende festgekittet oder fest eingesteckt ist. Auf dem Rande desselben wird der schmale Glasstreifen A

Fig. 188.

1 Mit dieser Beobachtung stimmt die Erfahrung genau überein, dafs die vorzüglichen Geigen oft in der Nähe bei weitem keinen so angenehmen und starken Ton zeigen, als in gröfserer Entfernung.

2 Ann. Chim. Phys. T. XIV. p. 113. Daraus in Gilb. LXVIII. 113.

Digitized by Google

festgekittet, welcher mit dem andern Ende auf dem beweglichen Stege C ruht. Streicht man den Becher der Verbindungsstelle gegenüber mit einem Bogen, so versetzt er durch seine Transversalschwingungen den Streifen in longitudinale, die durch aufgestreueten Sand sichtbar werden und dadurch an Interesse gewinnen, dafs man durch eingegossenes Wasser den Ton des Bechers willkürlich tiefer machen kann. Von den verschiedenartigen tönenden Körpern, die sich auf mannigfaltige Weise zur Erzeugung gleichzeitig bedingter Wellen verbinden lassen, sind längliche Scheiben am meisten geeignet und daher auch von SAVART am vollständigsten untersucht worden, insbesondere um den Uebergang der longitudinalen Schwingungen in transversale und umgekehrt aufzufinden. Einen einfachen, hierzu geeigneten Apparat bildet die hölzerne Regel B mit den beiden darin eingelassenen Glasstreifen C und C′ und dem längern hierauf ruhenden Glasstreifen A und noch einem auf diesem vertical festgekitteten Glasstreifen A′. Wird dieser Apparat so gehalten, dafs A′ eine horizontale Lage hat, und mit Sand bestreuet, so entstehn beim Streichen mit dem Bogen am Rande des Streifens A auf jenem die den Longitudinalschwingungen zugehörigen Knotenlinien, deren Lage die entgegengesetzte wird, wenn man den ganzen Apparat umkehrt. Wird dagegen der Streifen A in eine horizontale Lage gebracht und A′ mit einem wollenen Läppchen gestrichen, so hört man den vorigen Ton und auf A entstehn die Knotenlinien der transversalen Schwingungen. Hierbei wäre unbegreiflich, wie der verhältnifsmäfsig so kurze Streifen A′ durch longitudinale Schwingungen einen so tiefen Ton erzeugen könne, als A durch transversale, wenn man nicht annehmen wollte, dafs die erstern durch die stärkern letztern bedingt würden. Dieses wird dadurch bestätigt, dafs man den Streifen A′ verlängern kann, bis er longitudinal schwingend den nämlichen Ton giebt, als A durch transversale Schwingungen, und ersterer dann die nämliche Figur zeigt, wenn er für sich oder durch die Transversalschwingungen von A in longitudinale Schwingungen versetzt wird. Offenbar müssen also beide Streifen in solche sich gegenseitig bedingende Schwingungen versetzt werden, als die Zeichnung zu gröfserer Deutlichkeit darstellt.

Fig. 139.

Fig. 140.

Das nämliche Verhalten zeigt folgender Versuch. Man

Digitized by Google

Fig. 141. suche auf dem 25 Zoll langen Streifen A den zweiten Längenton, bemerke die Figur, die sich dabei bildet, kitte ihn in den aufgefundenen Knotenlinien auf die verticalen Streifen A′ und A″, bestreue ihn mit Sand und bringe ihn durch Reiben mit einem Tuchlappen in longitudinale Schwingungen, so entsteht ein tieferer Ton mit weiter von einander abstehenden Knotenlinien, und zwar der nämliche, den die verticalen Scheiben A′, A″ mit einem Bogen gestrichen geben. Vertauscht man die Streifen A′, A″ mit längeren, so wird der Ton tiefer und der Streifen A vertritt also hier die Stelle des Bogens. Dafs letzteres der Fall sey, ersieht man aus einem Versuche von Le Baron. Dieser kittete eine Röhre oder einen schmalen Glasstreifen fast horizontal auf den Rand eines mit seinem Fufse befestigten Weinglases, rieb das eine Ende desselben mit einem wollenen Läppchen und erhielt den Ton des Glases sehr wohlklingend, auch tiefer, wenn in dasselbe Wasser gegossen war. Ebendieses Resultat geht unverkennbar hervor, wenn man eine etliche Fufs lange und dünne Glasröhre lothrecht auf die Mitte einer beliebig gestalteten Scheibe von 1 bis 3 und mehr Zoll Durchmesser aufkittet und die Röhre entweder durch Reiben mit einem nassen Läppchen oder durch Querstriche mit einem Violinbogen in longitudinale oder transversale Schwingungen versetzt, indem dann die Scheibe jederzeit die entgegengesetzten Schwingungen durch die Figuren des aufgestreuten Sandes kenntlich macht. Savart scheint hierbei vorauszusetzen, dafs jederzeit die transversalen Schwingungen den Ton bedingen, allein bei längeren Röhren und kleineren Scheiben ist dieses sicher nicht der Fall, denn wenn man die Stellen wechselt, wo die Röhre zwischen den Fingern gehalten wird, so ändert sich diesem gemäfs auch der Ton und gleichzeitig die Figur auf der Scheibe. Auffallend bei diesem Versuche ist, dafs durch dieses Mittel auch die am wenigsten elastischen Körper zum Schwingen gebracht werden; denn ich habe nicht blofs Scheiben von Glas, Holz und den härteren Metallen, sondern selbst auch von Blei auf diese Weise zur Erzeugung von Figuren benutzt, die ebenso regelmäfsig und scharf begrenzt sind, als die Chladni'schen auf Glasscheiben; blofs mit dünnen Scheiben von Tabaksblei und Kartenpapier war es mir nicht möglich. Stemmt man eine Glasröhre vertical auf einen Resonanzboden und

Digitized by Google

bringt man sie zum Tönen, so erzeugt sie die ausgedehntesten und vielfachsten Figuren auf dem Resonanzboden. Man kann auch zwei Scheiben an beiden Enden eines Glasstabes rechtwinklig aufkitten und den Stab in Schwingungen versetzen, um auf beiden Scheiben Figuren zu erhalten, ja SAVART versichert, sogar mehrere 12 bis 15 Zoll lange und 1 bis 1,25 Z. breite Streifen (statt deren man auch Scheiben wählen kann) mit kürzeren Scheiben so verbunden zu haben, wie die Zeichnung darstellt. Fig. 142. Dieses ganze System ruht entweder blofs auf dem längern und breitern Streifen M, oder vermittelst dessen und der lothrechten Stützen auf dem Brete B. Wird dann der Streifen M durch Reiben in longitudinale Schwingungen versetzt, so gerathen alle lothrechte Streifen A in transversale Schwingungen, alle horizontale B in longitudinale, oder umgekehrt, wenn M ursprünglich transversale erhält. Im ersten Falle haben die Sandfiguren auf dem ersten, dritten, fünften .... Streifen die nämliche Anordnung n n, n n ...., auf dem zweiten, vierten, sechsten die entgegengesetzte N N, N N ...., und sind verschieden, je nachdem der Ton von M höher oder tiefer ist. Dafs es übrigens Bedingungen geben könne, unter denen zwei rechtwinklig verbundene Streifen beide in transversale Schwingungen gerathen, ist wohl nicht gut in Abrede zu stellen.

Als geschichtliche Notiz mag hier noch erwähnt werden, dafs SAVART bei der Bekanntmachung dieser Versuche wiederholt bemerkte, diese Reihe von Erscheinungen habe CHLADNI nicht gekannt; letzteren erwies jedoch genügend[1], dafs er sie vollkommen gekannt habe, denn eben hierauf beruhte die Construction seines *Euphons*, welches er anfangs geheim zu halten für gut fand.

42) Auf gleiche Weise, als feste Körper in anderen festen, mit ihnen verbundenen Körpern jeder Art Schwingungen erzeugen, welche die eigenthümliche Beschaffenheit der Töne oder das, was wir genau bezeichnend Klang nennen, bedingen, setzen sie auch die *Luft* in Vibrationen, die theils zu ihrer Verstärkung, theils zur Modificirung ihres Klanges dienen. Um dieses recht auffallend wahrzunehmen, darf man nur eine Stimmgabel anwenden, die, wie oben erwähnt wurde,

1 Ann. Ch. Phys. XX. 74. G. LXVIII. 160.

an Stärke des Tones so bedeutend zunimmt, wenn man ihren Stiel auf einen Resonanzboden stützt. Wenn diese, in Schwingungen versetzt und an ihrem Stiele in der Hand gehalten, gar nicht gehört wird, so nimmt man den Ton sogleich wahr, sobald man ihre eine Zinke horizontal über die Oeffnung eines Medicinglases hält, und man gewahrt bald, dafs die im Glase eingeschlossene, mittönende Luft die Verstärkung des Schalles bewirkt. Zu mehrerer Ueberzeugung darf man nur so lange Wasser in das Glas giefsen, bis beim geeigneten Blasen in die Oeffnung der nämliche Ton zum Vorschein kommt, den die Stimmgabel giebt, und dann den Versuch wiederholen, so wird die Verstärkung noch auffallender. In diesem Falle ist also zwar die Stimmgabel der den Ton erzeugende Körper, der gehörte Ton aber ist eine Folge der Luftschwingungen im Glase.

Handelt es sich zuerst blofs um das Mittönen oder die Verstärkung und Modificirung der aus den Schwingungen fester Körper entstandenen Töne durch die gleichzeitigen, eben hierzurch erzeugten Schwingungen der Luft, so giebt es aufser der bereits erwähnten noch eine Menge sonstiger Erscheinungen. Insbesondere darf angenommen werden, dafs die in sphäroidisch gestalteten Räumen eingeschlossene Luft ausnehmend leicht in Schwingungen versetzt wird und auf den Klang von sehr bedeutendem Einflusse ist. Bei den Schwingungen einer Glocke wird die in ihrem Innern eingeschlossene Luft zum Mittönen gebracht; die Glocke trägt, wie Weber[1] sagt, ihren Resonanzboden in sich und tönt daher um so viel stärker als eine Scheibe. Biot[2] erzählt auf die Aussage von J. J. Rousseau, dafs in den Theatern Italiens der Fufsboden des Orchesters in möglichst wenigen Puncten mit dem Gebäude verbunden ist und auf leichten Rahmen ruht; unter ihm aber ist ein hohler, nach vorn offener Raum, welcher nach seinem Ausdrucke wie ein grofses Sprachrohr die Töne, durch gleichzeitiges Mitklingen mit den Instrumenten erregt, zusammt diesen in das Theater sendet, genauer genommen aber wirkt der Boden wie ein Resonanzboden. Mit Uebergehung anderer Fälle, bei denen nicht blofs durch feste Körper, sondern auch

1 Wellenlehre S. 546.
2 Traité T. II. p. 186.

Digitized by Google

durch Luftschwingungen gasförmige Körper zum Mittönen gebracht werden, erwähne ich zunächst ein hierauf direct beruhendes Instrument, *Gender* genannt, welches Stamford Raffler aus Ostindien mitgebracht hat. Dieses besteht nach Wheatstone[1] aus 11 Metallplatten, die in den am leichtesten entstehenden Schwingungsknoten in jedem mit 2 Löchern durchbohrt und an zwei durch diese gezogenen Fäden horizontal aufgehangen sind. Unter jedem steht ein verticales Bambusrohr, welches mit einem Deckel verschlossen oder geöffnet werden kann. Die in letzterem eingeschlossene Luftsäule ist für den Ton der über ihm hängenden Platte gestimmt, und werden dann diese mit einem kleinen Klöppel geschlagen, so hört man bei bedeckten Rohren einen nur schwachen und rauhen Ton, bei geöffneten aber einen sehr wohlklingenden, welcher von der schwingenden Luftsäule herrührt. Das Instrument hat 11 Töne, welche die sogenannten ganzen Töne unserer Tonleiter mit Ausnahme des 4ten und 7ten geben und sonach also zwei Octaven umfassen. Wheatstone hat bei Gelegenheit der Prüfung dieses Instruments noch andere interessante Untersuchungen über mittönende Luftsäulen angestellt und vermittelst einer Stimmgabel, die er über dem Mundloche einer Flöte schwingen liefs, aufgefunden, dafs der Ton bedeutend mehr verstärkt wird, wenn der elastische Körper und die Luftsäule gleichmäfsig stimmen. Aehnliche Versuche mit der Maultrommel und Röhren mit schwingenden Luftsäulen erwähne ich hier nur beiläufig. Fig. 143.

Bei weitem am wichtigsten sind diejenigen Luftschwingungen, welche durch die Schwingungen elastischer Häute, Blätter, Bleche u. s. w. erzeugt den wahrgenommenen Ton hervorbringen. Dahin mufs ich aus bereits erwähnten Gründen das Pfeifen mit dem Munde, die durch die Bänder im Kehlkopfe erzeugte Stimme der Menschen und Thiere und mit Uebergehung einzelner minder bedeutender die Töne der sämmtlichen Rohrinstrumente rechnen. Beim Pfeifen mit dem Munde, wo keine Luftsäule vorhanden ist, die vermöge ihrer Länge so tiefe Töne hervorbringen könnte, setzt der ausgestofsene oder eingezogene Luftstrom die Häute der Lippen in

---

1 Quarterly Journ. of Science. New Ser. N. V. p. 175. Daraus in Schweigg. Journ. LIII. 329.

Digitized by Google

Schwingungen, selbst auch die Zähne, wenn das eigenthümlich scharf klingende Pfeifen durch diese geschieht, wobei zwar diese Vibrationen nicht selbst, wohl aber die gleichzeitig erregten der Luftsäule, welche die bebenden Körper berührt, den vernehmbaren Ton geben. Die menschliche Stimme beruht auf den Schwingungen der Bänder der Stimmritze nicht unmittelbar, wohl aber mittelbar, indem durch diese die angrenzende Luftsäule in Schwingungen geräth, und eine gleiche Bewandtnifs hat es mit allen vibrirenden Blättern der Hoboen, Clarinetten, Fagotte und der gesammten Rohrwerkzeuge. Da es erforderlich seyn wird, der Untersuchung aller durch Luftschwingungen tönender Instrumente noch einen besondern Abschnitt zu widmen, so verweise ich darauf rücksichtlich des Einzelnen.

43) Umgekehrt zeigen sich sehr häufig auch Schwingungen *fester elastischer Körper*, die durch ursprüngliche der Luft erzeugt werden, so unglaublich es auch auf den ersten Blick scheinen mag, dafs ein so dünnes, durch ausnehmende Flüssigkeit so sehr sich auszeichnendes Medium, ohne eigentliche fortschreitende Bewegung, starre Körper in so schnelle Vibrationen zu versetzen im Stande seyn soll. Inzwischen zeigt ein allgemein bekanntes Phänomen, nämlich das rollende Getöse des Donners, welches auf der See und hohen Bergspitzen meistens wegfällt, dafs selbst aus grofser Ferne kommende Luftschwingungen massive Gebäude beben machen, indem man dabei ein Zittern der Thüren und ein Klirren der Fenster wahrnimmt. Als bekannt darf ich gleichfalls das Beben der verschiedensten festen Körper, sogar massiver Mauern in den Kirchen, beim Tönen der tiefsten Pfeifen grofser Orgeln voraussetzen; allein es ist nicht nothwendig, diese seltener sich zeigenden Phänomene abzuwarten, um die Frage zu beantworten, ob es wirklich Luftschwingungen sind, welche feste Körper in Vibrationen versetzen, indem ein leichter Versuch hierzu genügt. Wenn man eine Membrane, z. B. die oben §. 23. beschriebenen sehr dünnen von elastischem Gummi, besser eine Thierblase oder ein Blatt Papier über einem Ringe oder hohlen Cylinder ausspannt, mit Sand bestreuet und über demselben einen etwas starken Ton vermittelst eines Blaseinstruments erzeugt, so gewahrt man nicht blofs das Hüpfen des Sandes, sondern es kommt auch eine sehr kenntliche

Digitized by Google

Klangfigur zum Vorschein. Am besten und leichtesten geräth dieser Versuch, wenn man den Ton mit dem bloſsen Rohre eines Fagottes oder hauptsächlich einer Clarinette dicht über der Membrane erzeugt, welcher scharf und gellend ist und den schwingenden Theilen sehr nahe gebracht werden kann; auch läst sich der Einwurf leicht beseitigen, als ob das Hüpfen des Sandes durch den Luftstrom des kleinen tönenden Werkzeuges verursacht werde, wenn man in geringem Abstande unter der Oeffnung ein Stück Papier hält oder diese Oeffnung nicht über die Membrane selbst, sondern nur neben dem hohlen Cylinder münden läſst, über welchem die Membrane ausgespannt ist. Savart[1] hat durch genauere Untersuchung aufgefunden, daſs solche Schwingungen in einem zweiten Körper durch die zwischenliegende Luft am leichtesten dann erzeugt werden, wenn beide der Zahl nach in einem rationalen Verhältnisse zu einander stehn. Er bediente sich zu seinen Versuchen der Glasscheiben, versetzte diese durch Streichen mit einem Violinbogen in transversale Schwingungen und fand, daſs die auf den ausgespannten Membranen erzeugten Klangfiguren sich änderten, wenn die über ihnen gehaltenen Glasscheiben eine horizontale oder geneigte Lage hatten. Die erzeugten Figuren sind den Chladni'schen vollkommen ähnlich, sollen sogar auch durch die menschliche Stimme zum Vorschein kommen und lassen sich vorzüglich schön auch durch aufgestreuetes Lycopodiumpulver sichtbar machen. Dabei ist es gleichgültig, ob die in der Luft fortgehenden Schallwellen, die dann feste Körper in mittelbare Schwingungen versetzen, ursprünglich in der Luft, wie beim Donner, oder durch die Vibrationen fester Körper erzeugt worden sind. Einen leichten Beweis der Thatsache erhält man durch den interessanten Versuch, wenn man zwei Saiten auf verschiedenen Instrumenten völlig unison stimmt oder überhaupt zwei tönende Körper, wovon der eine aber eine transversal schwingende Saite seyn muſs, genau gleich stimmt, über die Saite einen schmalen, etwas gebogenen Streifen Papier hängt und in beliebiger Entfernung den gleichen Ton erzeugt, worauf dann der Streifen herabgeworfen wird. Sind die Töne nicht unison, so fällt der Streifen nicht herab, weil zwar die Saite dann gleichfalls

---

1 Ann. Chim. Phys. XXVI. 6.

erhebt, aber nicht hinlänglich stark, indem die ungleichzeitigen Schwingungen von ihr selbst und die der Luft einander stören. Wheatstone[1] macht die auf solche Weise erzeugten Wellen dadurch sichtbar, dafs er die Oeffnung eines Blaseinstruments etwas unter Wasser taucht, auf welchem diese dann zum Vorschein kommen, wobei jedoch der Einwurf sich nicht ganz beseitigen läfst, dafs sie durch den mechanischen Impuls des Luftstromes oder durch das Beben des Instruments erzeugt seyn könnten. Ungleich interessanter und zugleich für die Theorie sehr wichtig ist dagegen das durch Savart[2] aufgefundene Verfahren, nicht blofs diese mittelbar erzeugten Schwingungen, sondern zugleich auch die Existenz der Schwingungsknoten in tönenden Luftsäulen sichtbar zu machen. Zu diesem Ende verfertigt man Ringe von sehr dünnem Fischbein oder einer sonstigen geeigneten Substanz, spannt über diese eine zarte Membrane, wozu das sogenannte Strohpapier (*papier végétal*), Goldschlägerhaut oder die Amniumhäutchen der kleinen Montgolfièren am meisten geeignet sind, vermuthlich auch sehr dünne Membranen von elastischem Gummi, läfst diesen Apparat an einem Faden, welcher unten in drei am Ringe befestigte Fäden ausläuft, so herabhängen, dafs die gebildete Fläche horizontal ist, bestreuet sie mit Sande und senkt sie in einer vertical stehenden, tönenden gläsernen Röhre herab, so hüpft der Sand an allen Stellen der Luftsäule, wo diese schwingt, und ruht in den Schwingungsknoten. Hierbei erhält man also theils solche Schallfiguren transversaler Schwingungen, die durch die longitudinalen der Luftsäule in der Röhre erzeugt werden, theils kommen die letztern, die man an sich nicht wahrzunehmen vermag, hierdurch deutlich zum Vorschein. W. Hopkins[3] hat diese Versuche mit gleichem Erfolge wiederholt.

Hier verdient ein Phänomen angegeben zu werden, welches zwar nicht unmöglich ist, aber wegen seiner geringen Wahrscheinlichkeit um so mehr an historischem Interesse ge-

---

1 Ann. Chim. Phys. XXIII. 316.

2 Ann. Chim. Phys. XXVI. 5. Vergl. T. XXXII. Was Savart an dieser letztern Stelle gegen Chladni folgert, ist durch W. Weber hinlänglich widerlegt worden. S. Schweigger's Journ. L. 176.

3 London and Edinburg Phil. Mag. N. XV. p. 225.

Digitized by Google

winnt. Es herrscht nämlich die Sage, man könne Gläser durch einen starken, in ihren Kelch gerichteten Schrei zersprengen. Morhof[1] und Bartoli[2] erzählen dieses als Thatsache, und Chladni[3] versichert, von einem glaubwürdigen Manne als Augenzeugen das Nämliche gehört zu haben. Auch mir erzählte der bekannte göttingische Philosoph Feder, dessen Glaubwürdigkeit wohl niemand in Zweifel ziehn wird, dafs er als Schüler einem Manne zugesehn habe, welcher in einem Wirthshause dieses Kunststück gegen Eintrittsgeld zeigte, indem er mehrere Gläser vor sich auf einen Tisch stellte, ihren Ton durch Anschlagen mit einem Schlüsselchen aufsuchte und dann ebendiesen kurz und möglichst scharf hineinschrie, worauf dasselbe ohne weitere sonstige Veranlassung zersprang. Durch den Ton einer Trompete soll diese Wirkung nicht hervorgebracht werden, wohl aber nach Bartoli durch den einer Violinsaite, und dabei versteht sich von selbst, dafs dünne und sehr hell klingende Gläser am meisten dazu geeignet sind. Chladni scheint die Sache in Zweifel zu ziehn und ich theile seine Ansicht, weil ein Glas zwar durch eine solche Ursache allerdings zum Tönen gebracht wird, aber keineswegs so stark, als durch Anschlagen oder Streichen mit einem Bogen; dagegen meint er, der Erfolg würde statt finden, wenn das Glas vorher etwa mit einem Diamant einen feinen, bei gewöhnlicher Betrachtung nicht auffallenden Rifs erhalten hätte, denn eine Glasscheibe zerspringe nie beim Tönen durch einen Bogenstrich, aufser wenn sie schon einen feinen Rifs habe. Merkwürdig ist hierbei die Thatsache, dafs schon im Talmud[4] unverkennbar auf dieses Phänomen hingedeutet wird, indem daselbst die Meinungen der Rabbinen angeführt werden, wie es mit dem Schadenersatze zu halten sey, wenn das Ge-

---

1 Stentor hyaloclastes, sive de scypho vitreo per vocis humanae sonum rupto. Kil. 1683. 4.

2 Trattato del suono e de' tremori armonici. Bologna 1680.

3 Akustik S. 271.

4 Baba Kama. Fol. 18. col. 2. Die interessanten Worte heifsen: Tradit Rame, fil. Iecheskel, gallus gallinaceus, qui extendit caput suum in vacuum vasis vitrei, clanxeritque in eo, ut frangatur, persolvitur damnum integrum. Et dixit Raf Joseph: verba familiae Magistri: equus qui hinnit et asinus qui rudit et fregit vasa, persolvit (dominus) dimidium damnum. S. Chladni neue Beiträge S. 87.

Digitized by Google

schrei eines Hahns oder eines Esels oder eines Pferdes ein Glas zersprengt habe.

44) Es kann nach den bisher mitgetheilten Thatsachen nicht wohl zweifelhaft seyn, dafs durch Luftschwingungen auch andere Luftmassen in Schwingungen versetzt werden müssen, und es läfst sich also als Folgerung der allgemeine Satz aufstellen, dafs alle Schallwellen, sie mögen durch feste oder flüssige Körper erzeugt worden seyn, bei unmittelbarer Verbindung mit andern gleichfalls festen oder elastisch flüssigen Körpern oder bei vorausgegangener Fortpflanzung durch dieselben in dieser mittelbare Schwingungen erzeugen, die entweder für sich hörbar sind und als solche den eigentlichen Ton geben, oder nicht selbst vernehmbar den Klang der Töne bedingen. Hierbei findet noch aufserdem das allgemeine Gesetz statt, dafs die mittelbaren Schwingungen mit den ursprünglichen in einem gewissen rationalen Zusammenhange stehn, indem sie an Menge einander gleich sind oder die leichtesten Verhältnisse 5:4, 3:2 und 2:1 bilden. Diesemnach wird der Ton im Allgemeinen verstärkt, indem gleich viele Schwingungen in der nämlichen Zeit am leichtesten erzeugt werden, weswegen der Ton einer Stimmgabel über jedem offenen Medicinglase an Stärke zunimmt, welchen eigenthümlichen Ton auch die darin enthaltene Luftmasse für sich haben mag, die Saiten auf einem Instrumente aber erzeugen leicht das Mittönen der harmonischen Dreiklanges und auf gleiche Weise hört man auch bei der Aeolsharfe nach dem ersten entstandenen Tone bald die Terze, Quinte, Octave und so fort bis zur Doppeloctave.

Man begreift leicht, dafs die Menge der Erscheinungen, die aus diesem allgemeinen Gesetze folgen, sehr grofs seyn mufs, und ich will daher nur einige der vorzüglichsten namhaft machen. Vor allen Dingen werden in gewölbten Räumen eingeschlossene Luftmassen leicht in mittelbare Schwingungen versetzt, durch welche der an sich unhörbare Schall vernehmbar wird. Hieraus erklärt sich das summende Getöse, eine Art von Brausen, in manchen Muscheln, wenn man ihre Oeffnung an das Ohr hält. Nach den Versuchen der Gebrüder Weber[1] geben Röhren, wenn man sie gegen das Ohr hält,

1 Wellenlehre u. s. w. S. 521.

Digitized by Google

durch das gewöhnliche am Tage herrschende Geräusch einen schwachen, aber doch hörbaren Ton, welcher der Länge der in ihnen enthaltenen Luftsäule zukommt. Sehr sinnreich aber haben die Römer bei ihren erstaunlich grofsen und noch obendrein oben offenen Theatern den Schall, welcher sonst aus so grofser Entfernung gar nicht wahrnehmbar gewesen wäre, dadurch verstärkt, dafs sie Einschnitte unter den Sitzen anbrachten und Gefäfse auf keilförmige Unterlagen gestützt hineinsetzten, um die in diesen enthaltene Luftsäule zum Mittönen zu bringen. Vitruv [1] erzählt dieses von einigen Theatern in Italien und auch in Griechenland, namentlich zu Korinth, von woher Mummius diese ehernen Gefäfse nach Rom brachte, auch giebt er weitläuftig an, wie dieselbe für die verschiedenen Töne abgestimmt und zur besten Verstärkung des Schalles nach der Gröfse des Theater gestellt gewesen wären, desgleichen dafs man des wohlfeilern Preises wegen sie an manchen Orten aus gebrannter Erde verfertigt habe. Gemeiniglich glauben die Akustiker, was auch Vitruv andeutet, die Gefäfse selbst seyen zum Mittönen bestimmt gewesen, in welchem Falle die Anwendung der ehernen unbegreiflich scheint [2], allein ich kann nicht anders glauben, als dafs blofs die eingeschlossene Luft zur Verstärkung des Schalles diente, in welchem Falle ein Abstimmen derselben überflüssig wurde. Aus gleichem Grunde trifft man eine bedeutende Verstärkung des Schalles in allen denjenigen Gemächern, in denen mehrere gewölbte oder überhaupt nur hohle Räume vorhanden sind, und das gemeine Vorurtheil, dafs sich der Schall in diesen fange und dadurch, ebenso wie durch Säulen, geschwächt werde, streitet gegen alle Erfahrung. Grofse Kirchen mit vielen solchen Räumen verstärken den Schall so ausnehmend, dafs mäfsig lautes Reden stärker darin schallt, als in kleinen Zimmern. Hiermit stimmt dann der bereits erwähnte [3] Umstand überein, dafs alte verfallene, mit vielen Löchern und Vertiefungen versehene Mauern, namentlich Bogen und Wölbungen, die vorzüglichsten Echo's geben.

Diese Untersuchung hängt mit einer wichtigen, aber zu-

1 Architectura L. V. cap. 5.
2 Vergl. Biot Traité II. 186. Chladni Akustik S. 252.
3 S. Art. *Echo*. Bd. III. S. 92.

gleich ausnehmend schwierigen Aufgabe zusammen, nämlich gröfsere und kleinere Säle so einzurichten, dafs sie den jedesmaligen akustischen Forderungen am besten genügen. Unter den vielen Betrachtungen, die hierüber angestellt worden sind, entnehme ich die Hauptsachen aus den Werken von J. P. v. Rohde[1], L. Catel[2] und Chladni, mit dem Bemerken, dafs die allgemeinen Grundsätze sehr einfach, specielle Erfordernisse aber oft wegen obwaltender unüberwindlicher Schwierigkeiten gar nicht zu befriedigen sind. In den meisten Fällen handelt es sich blofs um eine gleichmäfsige Verbreitung des Schalles, in den wenigsten dagegen um eine künstliche Verstärkung, die wiederum entweder allgemein seyn oder so eingerichtet werden soll, dafs die Schallwellen in einem gewissen Raume zusammenfallen und dann nur an diesem das Ohr afficiren. Die hierauf beruhenden *Sprachgewölbe*, deren Untersuchung mit den Gesetzen der Fortpflanzung des Schalles zusammenhängt, werden unten nochmals erwähnt werden, indem hier blofs von derjenigen Verstärkung des Schalles die Rede ist, die durch mittelbare Schwingungen erzeugt wird. Wie bereits bemerkt wurde, findet hauptsächlich durch hohle Räume eine Verstärkung des Schalles statt, und da man diese in der Regel sucht, so liegt hierin unmittelbar keine Unannehmlichkeit, vielmehr ist es oft überraschend, wie ausnehmend wohlklingend eine Musik wird, deren Schall sich von einem Zimmer aus in Kreuzgewölben und langen klosterartigen Gängen verbreitet. Inzwischen kann auch diese Wirkung zu stark werden, wenn die erzeugten Vibrationen zu lange anhaltend und für sich wahrnehmbar sind, ohne die eigentlichen Haupttöne blofs zu unterstützen, in welchem Falle die letztern von einem unangenehmen Summen, einer Art Brausen, begleitet sind, demjenigen ähnlich, was man beim Gebrauche eines Hörrohrs wahrnimmt. In den meisten Fällen ist jedoch diese Wirkung eine Folge der Reflexion und nicht des Mittönens. Feste Körper werden um so viel leichter in mittelbare Schwingungen versetzt, je elastischer, je dünner und je weniger sie mit weichen Körpern verbunden sind. Fufsteppiche, wollne und seidne Tapeten, gepolsterte Meubeln und

---

1 Theorie des Schalles für Baukünstler. Berl. 1800.

2 Vorschläge zur Verbesserung d. Schauspielhäuser. Berl. 1802.

Digitized by Google

sonstige Dinge dieser Art sind daher in dieser Beziehung und nicht blofs durch gehemmte Reflexion dem Klange nachtheilig, dagegen soll man nach CHLADNI[1] den Concertsaal zu Sanssouci mit dünnen, blofs am Rande auf Leisten aufgenagelten Bretern ausgetäfelt und davon eine gute Wirkung erhalten haben. Die ausnehmende Stärke des Schalles in neuen Gebäuden, insbesondere wenn lange Reihen von Zimmern mit einander zusammenhängen, wird gleichfalls hieraus erklärlich, ist aber im Art. *Echo* bereits erwähnt worden. Uebrigens werden alle bei akustischen Räumen zu berücksichtigende Aufgaben aus den hier mitgetheilten Gesetzen des Mitklingens und aus denen, die sich auf die Sprachzimmer §. 85. beziehn, leicht erklärbar. Wie sehr die Reflexion den Schall verstärke, ersieht man unter andern daraus, dafs man die Stimme eines Rufenden nur mit Mühe in 2000 Fufs Entfernung hört, die aber bei einem Echo von 1000 Fufs Abstand ohne Schwierigkeit vernommen wird. Hierauf beruht auch die von GOUGH[2] untersuchte Schallverstärkung durch grofse Flächen und das durch BLACKBURN[3] beobachtete parabolische Schallbret in der Kirche zu Attercliffe.

D. Absolute Schwingungszahlen; Stöfse, Combinationstöne, Nebentöne und Tonverhältnisse.

45) In unmittelbarer Verbindung mit den bisherigen Untersuchungen steht die Erläuterung der Art und Weise, wie durch die verschiedenen Instrumente Töne vermittelst transversaler oder longitudinaler Schwingungen, und zwar sowohl unmittelbarer als auch mittelbarer, erzeugt werden; um jedoch diesen Theil der Akustik leichter verständlich zu machen, will ich die Untersuchung der absoluten Schwingungszahlen vorausschicken.

Bei den Untersuchungen über die Entstehung des Schalles wurde gleich anfangs der Satz aufgestellt, dafs ein Ton nur dann entstehe, wenn eine genügende Menge in gleichen

---

1 Akustik S. 252.
2 Nicholson's Journ. 1805. Febr. G. XXIII. 358.
3 Phil. Journ. or Ann. of Philos. N. XXXI. p. 21.

Digitized by Google

Zeitintervallen einander folgender Pulsus jeder Art vorhande wäre, und alle spätere zahlreiche Erfahrungen bestätigten nicl blofs diesen Hauptsatz der Akustik, sondern erweiterten ih auch dahin, dafs die Tonhöhe der Menge der in einem glei chen Zeitraume erfolgenden Vibrationen proportional sey. Des gleichen führte die Vergleichung der Längen gleich dicker un gleichmäfsig gespannter Saiten der nämlichen Art, wie nicl minder der schwingenden Luftsäulen, zu dem Resultate, dal jede doppelte Menge von Schwingungen die Octave desjeni gen Tones giebt, welcher durch die einfache erzeugt wird Da dieses aus der Theorie der Pendelschwingungen folgt un aus leicht zu erhaltenden Erfahrungen hervorgeht, so konnt hierüber schon in den frühesten Zeiten keine Ungewifsheı herrschen; weit schwieriger dagegen war die Aufgabe, die ab soluten Schwingungsmengen aufzufinden, die einem gewisser bestimmten Tone zugehören, da diese insgesammt für eine un mittelbare Zählung zu zahlreich sind und die genaue Aus messung derjenigen Gröfsen, welche bei den verschiedener tönenden Körpern diese Menge bedingen, viel zu grofsen Schwierigkeiten unterliegt. Sauveur war der erste, welcher gerade im Anfange des vorigen Jahrhunderts diese Frage auf eine sinnreiche Weise zu beantworten versuchte, allein seine nicht vollendeten Untersuchungen, ebenso wie die seines Nachfolgers Sarti, sollen unten in Verbindung mit den neuesten, auf gleiche Weise erhaltenen Resultaten näher beschrieben werden. L. Euler[1] mafs bei gespannten Saiten die in der oben §. 13. mitgetheilten Formel enthaltenen Gröfsen und bestimmte hiernach die Anzahl der Schwingungen einer solchen von 2,5 rheinl. Fufs Länge und durch ihr zehntausendfaches Gewicht gespannten zu 353,5. Aus der Vergleichung des erhaltenen Tones mit dem ungestrichenen a setzte er letzteres zu 392 Vibrationen in einer Secunde, und da das grofse C sich hierzu wie 3 zu 10 verhält, so ergab sich für das grofse C $0{,}3 \times 392 = 117{,}6$ oder 118 mit einer ausnehmend grofsen Genauigkeit, wenn man die damalige tiefere Stimmung in Anschlag bringt. Inzwischen verkannte der grofse Geometer die aus den Schwierigkeiten solcher Messungen nothwendig folgende Unsicherheit dieser Bestimmung nicht und gab daher

1 Tentamen novae theoriae musicae. Petrop. 1739. 4. §. 6.

igitized by Google

später[1] diese Zahl zu 125 an, ja selbst[2] nur zu ungefähr 100. Auch Chladni[3] hat dieses Problem nicht vollständig gelöst, vielmehr gesteht er selbst, dafs wegen der Ungleichheit der Stimmung an verschiedenen Orten eine scharfe Bestimmung unmöglich sey und er daher aus den bekannten Angaben ungefähr das Mittel zugleich auf solche Weise gewählt habe, dafs die Zahlen nach den Potenzen von 2 stiegen. Bei den von ihm mitgetheilten Bestimmungen liegt aufserdem unverkennbar noch das Verhältnifs der Länge tönender Luftsäulen zur Fortpflanzung des Schalles durch die Luft zum Grunde, welches übrigens auch genügt, der wahren Bestimmung so nahe zu kommen, dafs die Abweichungen leicht für eine Folge der an verschiedenen Orten nicht gleichen Stimmung gelten können; denn indem die 32fufsige Orgelpfeife als tiefster Ton mit 32 Schwingungen in jeder Secunde angenommen wird, so giebt das Product dieser beiden Gröfsen 1024 Fufs, also sehr nahe die Entfernung, auf welche der Schall in einer Secunde durch die Luft fortgepflanzt wird. Nach Chladni gehören dann folgende Längen der Orgelpfeifen, Tonhöhen und Schwingungszahlen zusammen, die aus den angegebenen Gründen, und weil sie so leicht im Gedächtnifs zu behalten sind, für gewöhnliche Fälle, wo es auf höhere Genauigkeit nicht ankommt, vollkommen genügen.

Das 32fufsige	C,	der tiefste gebräuchliche Ton,	giebt	32 Schwing.
— 16 —	C,	auch Contra C genannt,	—	64 —
— 8 —	C,	auch grofse C genannt,	—	128 —
— 4 —	c,	ungestrichene oder kleine c	—	256 —
— 2 —	c,	eingestrichene $\bar{c}$	—	512 —
— 1 —	c,	zweigestrichene $\bar{\bar{c}}$	—	1024 —
— ½ —	c,	dreigestrichene $\bar{\bar{\bar{c}}}$	—	2048 —

Die Folge der Töne geht dann auf gleiche Weise fort, jedoch reichen die Orgeln selten bis über den Anfang der dreige-

---

1 Nov. Comm. Petrop. T. XVI. De motu aëris in tubis. §. 62.

2 Briefe (an eine deutsche Prinzessin) über verschiedene Gegenstände aus der Naturlehre. Br. 8. Uebers. von Krigs. Th. I. S. 16.

3 Akustik S. 34.

strichenen Octave, die übrigen Instrumente aber nicht leicht noch eine Octave höher, und man kann daher nach einer genähert richtigen Bestimmung das sechsgestrichene c mit 16384 Schwingungen im Allgemeinen als die Grenze der wahrnehmbaren Töne betrachten.

Chladni[1] hat zugleich ein einfaches Mittel angegeben und selbst in Anwendung gebracht, um die absoluten Schwingungsmengen der Töne aufzufinden, welches jedoch gleichfalls nur zu genäherten Resultaten führt. Man spannt nämlich einen etwa 6 Lin. breiten, fast 1 Lin. dicken und etliche Fufs langen eisernen oder von einem sonstigen elastischen Metalle verfertigten Stab unbeweglich fest in einen Schraubstock vertical gerichtet ein, läfst ihn schwingen und sucht die Anzahl der in einer Secunde vollendeten Schwingungen möglichst genau auszumitteln, nachdem man zuvor die Länge des aus dem Schraubstocke hervorragenden Endes scharf bestimmt hat. Demnächst wird der Stab so weit tiefer im Schraubstocke herabgelassen, bis das hervorragende Ende nach abermaligem Festschrauben durch Anschlagen oder Streichen mit einem Violinbogen einen Ton giebt, welcher mit einem zur Vergleichung gewählten Instrumente völlig unison klingt. Indem aber die Schwingungsmengen des nämlichen Stabes in gleichen Zeiten sich umgekehrt wie die Quadrate der Längen verhalten, so ist durch das bekannte Verhältnifs beider Längen und die einer derselben zugehörige Schwingungszahl die der andern durch einfache Proportion gegeben. Chladni schlägt als am meisten für solche Versuche geeignet vor, einen Stab zu wählen, welcher in 1 Sec. 4 Schwingungen macht, von diesem dann den achten Theil aus dem Schraubstocke hervorragen zu lassen, welcher also $8^2 \times 4 = 256$ Vibrationen in gleicher Zeit vollenden und also das ungestrichene c geben wird; einen solchen Metallstab nennt er *Tonmesser* oder *Tonometer*.

46) Daniel Bernoulli[2] bestimmte die absolute Menge der Schwingungen aus der Vergleichung der Töne, welche zwei mit dem Munde angeblasene Pfeifen gaben, und fand für eine solche von 4 Fufs Länge und am einen Ende offene 115 Schwingungen in 1 Secunde, für eine damit gleich gestimmte

1 A. a. O. G. V. 1.
2 Mém. de l'Acad. 1762. p. 467.

Digitized by Google

Saite aber 116; allein Dülong bemerkt mit Recht, dafs weder die Länge der schwingenden Luftsäule genau gemessen, noch die eigentliche Tonhöhe hierbei scharf bestimmt werden kann, und aufserdem nahm er das Dichtigkeitsverhältnifs des Quecksilbers zur Luft bei 28 Z. Druck = 12000:1 an, welches eine Temperatur von 39° C. voraussetzt, die man unmöglich annehmen kann. Die Angabe stimmt auch mit der vorher mitgetheilten nicht überein, denn die doppelten Schwingungen für einfache genommen gäbe eine vierfufsige Pfeife nur 230 oder 232 Schwingungen, statt dafs Chladni 256 annimmt. Biot[1] nimmt als richtig an, dafs ein fester schwingender Metallstab (Chladni's Tonometer), wenn er 128 Vibrationen in einer Secunde macht, den nämlichen Ton giebt, als das tiefste C der Claviere, und eben diesen erhielt er als Grundton vermittelst einer 4 Fufs langen gedeckten Pfeife. Da aber die tönenden Schallwellen gleiche Geschwindigkeit haben, als diejenigen, durch welche der Schall in der Luft fortgepflanzt wird, so darf man bei einer gedeckten Pfeife nur die doppelte Länge in den Raum dividiren, welchen der Schall in 1 Secunde durchläuft, um die Anzahl der Vibrationen in der nämlichen Zeit zu finden. Die Geschwindigkeit des Schalles setzt er = 337,18 Met., und wenn diese und die Länge der Pfeife in Linien verwandelt werden, so erhält man

$$\frac{337{,}18 \times 443{,}296}{2 \times 576} = 129{,}75$$

als Anzahl der Wellen für C in 1 Sec. Diese Gröfse liegt zwischen 128 nach Chladni und 131,5 nach Sarti ungefähr in der Mitte, allein bei der Berechnung ist auf die Temperatur nicht Rücksicht genommen, welche das erhaltene Resultat nach Biot's eigener Angabe bedeutend abändert; auch geht aus den unten (E. b.) mitgetheilten Untersuchungen hervor, dafs wegen der Unbestimmtheit des Anfangspunctes der Vibrationen in Pfeifen auf diese Weise keine genauen Bestimmungen zu erhalten sind.

Den höchsten Grad von Genauigkeit dieser Bestimmung hat Dülong[2] bei denjenigen Versuchen erreicht, die er zur

---

1 Traité T. II. p. 148.

2 Ann. Chim. et Phys. XLI. 113. Baumgartner's Zeitschr. Th. VI. S. 474. Der gelehrte Hr. Verf. war so gütig, mir persönlich nicht

Digitized by Google

Ausmittelung der respectiven Wärmecapacität der Gasarten anstellte und wobei die hier vorliegende Frage gleichfalls erörtert wurde. Zum Zählen der Vibrationen bediente er sich der *Sirene*, eines für die akustischen Versuche so wesentlichen Instruments, dafs deren Beschreibung einen eigenen Artikel ausmachen könnte, wenn es nicht des Zusammenhanges wegen besser wäre, diese hier einzuschalten.

Die *Sirene* (*Sirène*, vom Gesange der mythischen Sirenen so benannt) ist ein von Cagnard de la Tour[1] erfundener, sinnreich construirter Apparat, um die beiden Hauptsätze der Schalllehre anschaulich zu machen, nämlich dafs durch blofse Pulsus, von welcher Art sie auch seyn mögen, wenn sie nur regelmäfsig und hinlänglich zahlreich in einer gegebenen Zeit auf einander folgen, ein Ton erzeugt wird, und dafs die Höhe dieses Tones der Menge der in gleichen Zeiten erfolgenden Pulsus direct proportional ist. Vermittelst derselben kann daher gezeigt werden, dafs die Pulsus, die durch blofse Unterbrechungen der ausströmenden Luft, des ausströmenden Wassers oder Quecksilbers entstehn, auf gleiche Weise und noch leichter einen Ton geben, als die Stöfse der Zähne eines hinlänglich schnell um seine Axe geschwungenen Rades gegen ein elastisches und daher leicht genug ausweichendes Blech nach Savart. Das Instrument kann mit einigen aufserwesentlichen Abänderungen construirt werden, es scheint mir jedoch am zweckmäfsigsten, ohne Rücksicht hierauf die Beschreibung nach den besten Exemplaren mitzutheilen, die ich selbst gesehn und gebraucht habe. Der wesentlichste Theil ist das genau abgedrehte messingne Rad oder die

Fig. 144. u. 145.

blofs die gebrauchten Apparate, sondern auch die Art des Experimentirens zu zeigen.

1 Ann. Chim. Phys. T. XII. p. 167. T. XVIII. p. 433. T. XXXV. p. 42. Vergl. G. LXXXVI. 265. Die dabei zum Grunde liegende Idee ist früher schon durch Stancarus aufgefafst worden. Dieser bediente sich eines um seine Axe geschwungenen Rades von 3 Fufs Durchmesser, in dessen Kranz 200 hervorstehende Nägel geschlagen waren. Beim Durchschneiden der Luft durch dieselben entstanden Töne, deren Höhe der Umdrehungsgeschwindigkeit proportional war, und aus der Zahl der Umläufe in 1 Secunde konnte die Zahl der Pulsus gefunden werden. Es sind indefs keine genaueren Bestimmungen der erhaltenen Resultate angegeben worden. S. Comm. Bonon. T. I. p. 180.

Digitized by Go

Scheibe A auf einer verticalen, oben und unten in feine Stahlspitzen auslaufenden Axe p q festsitzend, und von einem Durchmesser, welcher am zweckmäfsigsten 3 par. Zoll beträgt, jedoch auch bis 4 Zoll und darüber steigen kann. Da das Rad sehr schnell und mit grofser Leichtigkeit stets gleichmäfsig umlaufen mufs, so ist erforderlich, dafs die in Vertiefungen laufenden Stahlspitzen der Axe hinlänglich polirt sind; auch thut man wohl, die Vertiefungen, worin sie laufen, in Schrauben anzubringen, um bei etwaigem Auslaufen das Schlottern zu vermeiden. Die Dicke des Rades mufs so weit, als die Zähne reichen, sehr gleichmäfsig und nicht stärker als etwa eine par. Linie seyn, jedoch ist es vortheilhaft, demselben an dem nicht gezahnten Theile eine etwas grösere Dicke zu geben, um dadurch eine grösere Schwungkraft und somit eine länger dauernde gleichmäfsig geschwinde Rotation nach aufhörendem oder unterbrochenem Impulse zu erreichen. In den Rand sind bis zu einer Tiefe von fast drei Linien 100 Zähne in der Art ausgeschnitten, dafs die stehn gebliebenen Theile und die weggenommenen Oeffnungen genau gleiche Breite haben, überhaupt ist es wesentlich, dafs die nach dem Centrum hin zunehmende Verminderung des Raumes oder der Gröfse der Scheibe auf die Zähne und ihre Zwischenräume gleichmäfsig vertheilt werde, dafs beide also in allen Theilen der Peripherie ihre gleiche Gröfse beibehalten, dafs die Zähne genau kantig gearbeitet und von ebenen, fein ausgeschliffenen Flächen begrenzt sind. Unter den Zähnen befindet sich die kurze verticale Röhre a, deren äufserer Durchmesser gleichfalls 3 Linien beträgt und welche oben mit einer horizontalen Platte bedeckt ist, worin sich ein 2 Lin. langer Einschnitt befindet. Dieser Einschnitt kommt also gerade unter die Mitte der Zähne, ein gut gearbeitetes Instrument aber erfordert zugleich, dafs derselbe mit den Zähnen und ihren Zwischenräumen vollkommen parallel laufe, genau dieselbe Breite habe und gleich diesen scharfkantig, mit ebenen Flächen versehn und fein ausgeschliffen sey, auch mufs die untere Fläche der Zähne die obere Platte der Röhre zwar nicht berühren, ihr jedoch so nahe kommen, dafs man kaum ein feines Blättchen Papier dazwischen schieben kann. Hieraus folgt also, dafs beim Umlaufen der Scheibe um ihre Axe jeder über dem Einschnitte in der Cylinderplatte sich befindende Zahn diesen

verschliefst und dann wieder öffnet, wenn er um seine Dicke weiter gerückt ist, so dafs der Zwischenraum zwischen zwei Zähnen über der Oeffnung steht. Dieser Wechsel des Oeffnens und Verschliefsens erfolgt also dann, wenn der äufsere gezahnte Rand der Scheibe um eine Zahndicke weiter rückt, folglich bei vorhandenen 100 Zähnen 100mal bei einem Umlaufe, und wenn irgend eine Flüssigkeit, von welcher Art und mit welcher Geschwindigkeit es seyn mag, aus jener Oeffnung strömt, so wird ihre Bewegung durch jeden jener Wechsel aufgehalten, sie fafst also gegen jeden ihren Strom durchschneidenden Zahn, und diese Stöfse erfolgen bei guter Arbeit der Maschine nicht blofs sehr gleichmäfsig, sondern auch bis zu einer weit hinausliegenden Grenze ungemein schnell, nämlich so viele hundert Male in einer Secunde, als Umläufe der Scheibe statt finden. Weil die Scheibe bei dieser schnellen Bewegung eine starke Schwungkraft erhält, so mufs der Bügel C D E, zwischen welchem sich ihre Axe befindet, hinlänglich massiv und stark seyn, das untere Ende der Röhre a aber wird entweder auf die Düse eines Blasebalges gesteckt, welcher sich zu gröfserer Bequemlichkeit für gewöhnliche Versuche mit atmosphärischer Luft in dem Kästchen M befinden kann, oder sie wird mit dem Luftstrome aus einem Gasometer verbunden, oder man bläst mit dem Munde hinein, oder läfst den Strom irgend einer Flüssigkeit hindurchfliefsen, indem man der Maschine die umgekehrte Lage giebt, als welche in der Zeichnung ausgedrückt ist. Um endlich eine besondere Vorrichtung entbehrlich zu machen, wodurch das Umlaufen des Rades bewirkt wird, sind die Oeffnungen zwischen den Zähnen des Rades schräg geschnitten, so dafs die Ebenen ihrer begrenzenden Flächen ungefähr einen Winkel von etwa 30° oder etwas mehr mit der Axe der Scheiben bilden, wonach also der Strom der Flüssigkeit, dessen Geschwindigkeit auf den erzeugten Ton übrigens keinen Einfluss hat, mit einer seiner Stärke proportionalen gröfsern Schnelligkeit das Rad selbst umtreibt. Man kann daher mit diesem kleinen Instrumente vom tiefsten Tone des Violoncelles anfangen und durch Steigerung der Stärke des Strömens und dadurch bewirktes schnelleres Umlaufen bis zum höchsten Tone der Geigen gelangen.

Bis so weit ist die Sirene das geeignetste Instrument, um

Digitized by Google

zu beweisen, dafs blofse Pulsus eines jeden Körpers, sobald sie regelmäfsig und hinlänglich schnell auf einander folgen, einen Ton zu erzeugen vermögen und dafs die Höhe des Tones der Geschwindigkeit dieser Pulsus proportional ist; denn so wie die durch blofses Augenmafs geschätzte Geschwindigkeit des Umlaufens wächst, nimmt die Tonhöhe nicht sprungweise, sondern ganz allmälig zu und wächst durch die geringsten, dem Ohre nicht angenehmen Abstufungen, bleibt aber eine beliebige Zeit sich selbst gleich, so lange sich die Geschwindigkeit der Scheibe nicht ändert. Soll aber die Menge der einen gewissen Ton bedingenden Pulsus aufgefunden werden, so erfordert die Maschine ein Räderwerk, um das Zählen mechanisch zu verrichten. Die nothwendigen Bedingungen hierbei sind zuerst, dafs eine möglichst grofse Zahl von Pulsus gezählt werden könne, und dann, dafs die Zählung, sobald man will, augenblicklich beginne und ebenso schnell wieder aufhöre, um hiernach das Zeitintervall mit gehöriger Schärfe zu messen. Unter den verschiedenen Mechanismen, wodurch dieser Zweck erreicht werden kann, scheint mir folgender am bequemsten und sichersten. Um die Räder in Bewegung zu setzen, dient das Getriebe k, welches in das Rad R eingreift. Das Getriebe hat eine konische Oeffnung und ist auf die gleichfalls konische Spindel der Scheibe so aufgesteckt, dafs sie etwas in die Höhe gehoben an der Umdrehung der letztern nicht Theil nimmt, etwas abgedrückt aber sich festklemmt und selbst umgedreht das Räderwerk in Bewegung setzt. Damit dieses momentan eintrete, drückt man mit dem Finger auf den Knopf α, damit die Gabel γ das Getriebe k herabtreibe und auf der konischen Spindel feststecke, worauf jedoch die Gabel γ sofort durch die Feder φ, welche gegen die Scheibe σ wirkt, wieder in die Höhe gehoben wird, um auf der Oberfläche des Getriebes keine Reibung zu verursachen. Nach beendigtem Versuche geschieht die Auslösung ebenso einfach und schnell durch einen Druck auf den Hebelarm β, welcher im Charniere ψ leicht beweglich ist, mit der Gabel an seinem andern Ende π die Platte σ unmittelbar, durch die Gabel γ die Platte δ und durch diese das an ihr festsitzende Getriebe k hebt, so dafs dieses an dem fortdauernden Umlaufen der dünnern Spindel nicht weiter Theil nimmt, woran noch obendrein die Reibung der Platte δ an der Oberfläche der

Digitized by Google

Gabel γ hindert, der Hebelarm π ist schwerer, als der andere β, sinkt daher sich selbst überlassen bis auf das Ende der Feder φ herab; damit aber das Getriebe nicht zu frühzeitig herabsinke und das Zählen nicht vor dem Momente des Niederdrückens des Knopfes α beginne, später aber keine Reibung der Scheibe δ an der Gabel γ statt finde, drückt die an der Strebe μ befestigte Feder $\omega\lambda$ gegen das Ende des Hebelarmes β, und bewirkt durch ihre Reibung, dafs der Hebel in jeder Lage ruht und zugleich den Stab $\alpha\gamma$, also mit diesem auch das Getriebe k an der Scheibe δ in der erforderlichen Höhe hält. Ist aber der Knopf α und mit ihm die Scheibe σ und das Getriebe k herabgedrückt, letzteres aber auf der Spindel festgesteckt, so hebt die starke Feder φ beim Nachlassen des Druckes die Gabel γ nicht so hoch, dafs sie mit der Scheibe δ in Berührung kommt und Reibung erzeugt, bis man nach Beendigung des Versuches den Hebelarm β vermittelst des auf ihm sitzenden Knopfes ganz herabdrückt, worauf die Feder $\lambda\omega$ sein Aufsteigen unmöglich macht.

Die Einrichtung der Räder ist zwar willkürlich, allein zur nähern Uebersicht dienen folgende Angaben[1]. Das Getriebe k hat 6 Zähne, das dadurch bewegte Rad R hat 90, auf dem untern Theile der Spindel desselben ist ein Zeiger aufgesteckt, dessen leicht federnde Hülse gestattet, dafs man ihn auf jede beliebige Zahl, also beim Anfange des Versuches auf 0 der auf einer unter ihm befindlichen Scheibe aufgetragenen Theilung stellen kann. Diese erste Zeigerscheibe enthält 15 gröfsere Abtheilungen und zwischen jeder 3 kleinere, im Ganzen also 60, wovon die erstern ganze, die letztern Viertels-Umläufe der gezahnten Scheibe angeben, so dafs also, vorausgesetzt man könne die Hälfte eines solchen Theiles noch hinreichend schätzen, die Messung bis auf etwa 12 einzelne Pulsus herabgeht; im Ganzen aber läfst sich mit diesem Zeiger bis 1500 Pulsus zählen. Auf dem obern Ende der Spindel des Randes r befindet sich wiederum ein Getriebe mit 6 Zähnen, in welches die beiden Räder ϱ und ϱ', das eine mit 60, das andere mit 61 Zähnen, eingreifen. Diese sind also soge-

1 Der hier beschriebene Mechanismus ist in der Zeichnung nicht ausgedrückt, weil er die Figuren undeutlich machen würde und auch ohne dieses leicht verstanden wird.

Digitized by Google

nannte *hunting wheels*, jedes mit einem Zeiger versehn, deren ersterer einmal umläuft, wenn das Rad R 10 Umläufe beendigt, die Zeigerscheibe ist daher nur in 10 Theile getheilt, der Zeiger des letztern aber läuft zwar mit diesem gleichmäfsig um, bleibt aber bei jedem Umlaufe beider um den Abstand eines Zahnes zurück und die ihm zugehörige Scheibe enthält daher gleichfalls 10 gröfsere Abtheilungen, zwischen jedem aber noch 5 kleinere, im Ganzen also 60, die auch auf der andern bemerkt werden können, um den Unterschied beider schneller zu übersehn. Werden demnach beim Anfange der Messung eines Tones alle Zeiger auf 0 gestellt, so lassen sich nach der Beendigung die Zahl der Pulsus messen, und diese Messung reicht bis $100 \times 15 \times 10 \times 60 = 900000$; inzwischen könnte man noch weiter gehn, wenn man beim Experimentiren die ganzen Umläufe des letzten Zeigers beachten wollte.

Delone bemerkt mit Recht, dafs man die Versuche mit Anwendung der Sirene beliebig wiederholen und dadurch die Genauigkeit so weit treiben könne, wie man wolle, ja es ist selbst nicht nothwendig, bei jedem neuen Versuche wieder von 0 der sämmtlichen Zeiger anzufangen, vielmehr kann man den Anfang jedes folgenden Versuchs unmittelbar an das Ende des vorhergehenden anknüpfen, ungeachtet Fehler der Theilung bei einem in dieser Hinsicht so einfachen Instrumente nicht zu erwarten sind. Vor allem verdient aber die ausnehmend sinnreiche Methode des Experimentirens, die der genannte Gelehrte angewandt hat, beachtet zu werden. Derselbe hatte eine kleine Orgel, die nur etwas über eine Octave umfafste, mit gut gestimmten und einen ihrer Gröfse genau angemessenen Ton gebenden Pfeifen verfertigen lassen. An der Seite der Claviatur befand sich eine Oeffnung, in welche die Sirene gesteckt wurde, und der Blasebalg, welcher sie tönen machte, konnte mit zugelegten Gewichten so lange beschwert werden, bis der willkürlich verstärkte Luftstrom bleibend den erforderlichen Ton gab, welcher mit einer der Orgelpfeifen genau unison klang. War dieses vollständig erreicht, so wurde das Zeigerwerk der Sirene in Bewegung gesetzt und die Zeit genau gemessen, bis dieses wieder gesperrt wurde. Auf diese Weise wurde aufgefunden, dafs das eingestrichene c (c) 500,4 Schwingungen in einer Sexagesimalsecunde hat und durch eine

Digitized by Google

Pfeife von 0,6 Meter Länge hervorgebracht wird. In Beziehung auf diese letztere Angabe darf nicht übersehn werden, dafs die Töne tiefer werden, wenn die Temperatur abnimmt, und dafs es daher nöthig war, die bei diesem Versuche beobachtete Wärme von 22° C. zu bemerken. Dülong hat durch seine Versuche zugleich aufgefunden, dafs die Schwingungsmengen der Luftsäulen von 0° an gerechnet bei einer Temperatur von t° um die Gröfse $= \sqrt{1+0{,}00375\,t}$ wachsen und also die bei irgend einer Temperatur = t gefundenen Schwingungszahlen = N für eine andere Temperatur = t′ in

$$N' = N\sqrt{\frac{1+0{,}00375\,t'}{1+0{,}00375\,t}}$$

verwandelt werden, was er wenigstens zwischen 4° und 22° bestätigt fand. Insofern aber der Ton ohne Zweifel durch eine Stimmgabel bestimmt wurde, was ich unter andern auch daraus schliefse, dafs ich die gebrauchten Stimmgabeln bei Dülong gesehn habe, und es also hier auf die Vergleichung der Stimmgabel, auf welche der Einflufs der Temperatur nicht bedeutend und vorerst noch unbestimmt ist, mit den Angaben der Sirene ankommt, so ist diesemnach die angegebene Zahl der Schwingungen = 500,4 als eine absolute zu betrachten, die von der durch Chladni angenommenen = 512 um — 11,6 abweicht. Bei der letztern Angabe fehlt die Bestimmung der Temperatur; es läfst sich jedoch voraussetzen, dafs sich die Resultate der ohnehin nicht absolut genauen Versuche auf mittlere Wärme beziehn, wie sie durch Dülong bestimmt worden ist.

47) Gerade im Anfange des vorigen Jahrhunderts brachte Sauveur ein Mittel in Vorschlag, die absoluten Schwingungsmengen, die einem gegebenen Tone zugehören, aufzufinden, welches Sarti später abermals empfahl, Hällström neuerdings mit seiner bekannten Gewandtheit im Experimentiren zur Anwendung brachte, Scheibler aber so eben durch einige nicht unwesentliche Abänderungen des Verfahrens und der angewandten Apparate bis zur gröfsten Vollendung erhob, nämlich die sogenannten *Stöfse*, *Schläge* oder *Battements*. Damit die folgende Betrachtung deutlicher werde, wird nöthig seyn, zuvörderst anzugeben, was hierunter eigentlich zu verstehn sey, um so mehr, als man diese interessante Erscheinung bei weitem nicht so allgemein zu beachten pflegt,

Digitized by Google

als sie verdient, und meistens wegen der Aufmerksamkeit auf die aus ihnen oft entstehenden *Combinationstöne* übersehn hat.

Wenn zu einem Tone eine gewisse Anzahl Schwingungen = r, zu einem andern aber = s Schwingungen gehören, beide im Verhältnifs = a:b zu einander stehn, so müssen bei gleichzeitigem Anstimmen derselben $\frac{r}{a} = \frac{s}{b} = n$ Stöfse in jgend einer gegebenen Zeit erfolgen. Angenommen zwei Töne seyen völlig gleichgestimmt, so fallen ihre Schwingungen stets zusammen und es kann kein anderer Erfolg hieraus hervorgehn, als dafs der Ton eine verstärkte, aber stets sich gleichbleibende Wirkung auf das Ohr hervorbringe, wie dieses bei beiden gleichgestimmten Saiten des nämlichen Tones auf den Tasten-Instrumenten der Fall ist. Gehören dagegen zur Erzeugung eines Tones r Schwingungen und tönt gleichzeitig ein anderer von r + 1 Schwingungen, so werden die letztern hinter den erstern stets weiter zurückbleiben, bis die 1te von jenem mit der r + 1sten von diesem zusammenfallen. Berücksichtigt man zugleich, dafs die Schallwellen aus abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen bestehn, so fällt im angegebenen Falle die erstere mit der letztern, man könnte sagen eine positive mit einer negativen, zusammen, die sich ausgleichen und die Wirkung vermindern, anstatt sie zu vermehren, dagegen werden nach 2r Vibrationen des ersten und 2(r+1) Vibrationen des zweiten Tones die positiven beider zusammenfallen, und hieraus mufs eine gewisse Wirkung, eine Verstärkung des Tones entstehn, die den sogenannten *Stofs* oder *Schlag* (*battement*) giebt. Ist demnach das Verhältnifs der Vibrationen $\frac{r}{a} = \frac{s}{b} = n$ gegeben, so werden $\frac{n}{2}$ Stöfse in einer gegebenen Zeit für die Vielfachen von r und s erfolgen. Schreibler[1] hat diese theoretische Betrach- Fig. 146.

1 Der physikalische und musikalische Tonmesser. Erfunden und ausgeführt von Heinrich Schreibler. Essen 1834. 8. Schreibler wendet blofse Subtraction der Vibrationszahlen an, wodurch die Sache allerdings deutlich gemacht und selbst für die verschiedenen Octaven mit Consequenz durchgeführt werden kann. Hat z. B. ein Ton 880, ein anderer 872 Vibrationen in einer Secunde, so giebt 880 — 872 = 8, also $\frac{8}{2} = 4$ Stöfse in einer Secunde u. s. w.

Digitized by Google

tung durch eine instructive Figur sinnreich erläutert. Die Schallwellen zweier Töne, von denen 15 des einen in gleicher Zeit als 16 des andern erfolgen, fangen am Endpuncte mit 0 gleichzeitig an, und da die letztern im Verhältnifs von $\frac{1}{16}$ kürzer sind, so bleibt jede um $\frac{1}{16}$ zurück, sie erreichen sich jedoch einander nach der erforderlichen Zeit, aber es fällt die Vertiefung der einen mit der Erhöhung der andern zusammen, bis sie nach Verlauf des zweiten Zeittheiles beide mit ihren Erhöhungen zusammenfallen und den Stofs erzeugen. Hieraus folgt dann von selbst, dafs der durch beider Schwingungen erzeugte Ton im Maximo anfangen, dann allmälig bis zum Minimum abnehmen und wieder bis zum Maximum wachsen mufs, welcher Erfolg, durch die Zeichnung Fig. 147. dargestellt, das eigentliche Wesen der Stöfse anschaulich macht und zugleich den Beweis liefert, dafs jede ganze Schallwelle aus einem Fortschreiten und einem Rücklaufen besteht, wie Dan. Bernoulli von den Schwingungen der Luftsäulen nachgewiesen hat (§. 37. c.), dafs man demnach die einfachen Pulsus allgemein positiv und negativ nennen kann [1].

Bleiben wir zuvörderst bei diesen Stöfsen an sich stehn, wie sie sich ganz auf die angegebene Weise zeigen, so entdeckt man dieselben bald da, wo sie von selbst entstehn oder künstlich dargestellt werden, sobald man sie nur mit gehöriger Aufmerksamkeit beachtet. Am leichtesten erhält man sie, wenn man bei einem durch 2 Saiten erzeugten tiefen Tone eines Forte-Piano die eine Saite absichtlich so weit tiefer stimmt, dafs das Ohr den Ton jeder einzelnen als unmerklich verschieden erkennt. Werden dann beide gleichzeitig durch die nämliche Clavis angeschlagen, so hört man deutlich das wellenartige Wachsen und Abnehmen, und das von beiden reflectirte Sonnenlicht zeigt sie gekräuselt, statt dafs sie gleichstimmend als blanke Fläche erscheinen. Das Zeitintervall zwischen zwei Maximis der Intensität des erzeugten gemeinschaftlichen Tones ist am kleinsten bei gröfster Ungleichheit der

---

1 Unter den Stimmgabeln, die ich der Güte des Herrn Schmidler verdanke, finde ich zwei, bei deren gleichzeitigem Tönen man sehr bald blofs die Stöfse, die erzeugenden Töne selbst aber gar nicht hört. Ob hierbei vielleicht zufällige völlige Gleichheit der Stärke beider Töne mitwirkend sey, vermag ich nicht zu entscheiden.

ed by Google

Stimmung beider, wird aber gröfser, je näher man sie der gleichen Stimmung bringt, und müfste bei absoluter Gleichheit unendlich werden, wobei sich von selbst versteht, dafs das ganze Phänomen aufhört wahrnehmbar zu seyn, wenn die Coincidenzen in zu langer Zeit erfolgen und daher der Wechsel der Stärke des Tones mit der bei den meisten Instrumenten statt findenden Abnahme desselben verschwindet. Auf gleiche Weise hören sie aber auch dann auf, wahrnehmbar zu seyn, wenn sie einander so nahe liegen, dafs sie ebenso wenig, als die den Ton bedingenden Vibrationen, einzeln unterscheidbar sind. Hat man auf die hier angegebene Weise einmal die Stöfse kennen gelernt, so findet man sie bei vielen andern Erscheinungen leicht wieder. So zeigen sie sich namentlich sehr auffallend beim Tönen grofser Thurmglocken, ganz denjenigen Betrachtungen gemäfs, wonach die Erzeugung des Schalles bei diesen (oben §. 34.) erklärt worden ist, ferner bei Glasröhren, langen Metallstäben und silbernen Löffeln, wenn man sie an einem Faden herabhängen läfst und mit den Fingern die Enden des Fadens ins Ohr bringt. Liegen die Stöfse einander sehr nahe, z. B. bei tiefen verschieden gestimmten Tönen, namentlich der Orgelpfeifen, so erzeugen sie ein widerliches Gerassel, ein unangenehmes Geräusch, und hieraus wird zugleich das sogenannte Schlagen der Töne zweier Instrumente und der Umstand erklärlich, dafs es auf den meisten Violoncello's einen Ton giebt, welcher nicht zum reinen Klange gebracht werden kann, weil die Schwingungen der Saite mit denen des obern Resonanzdeckels so zusammenfallen, dafs einander sehr nahe liegende Stöfse erzeugt werden.

48) Aus dem bisher Gesagten ergiebt sich von selbst, dafs man aus der Menge der Stöfse, die je zwei Töne von bekanntem Verhältnisse ihrer Schwingungsmengen in einer bestimmten Zeit geben, die absolute Zahl der Schwingungen eines Tones auffinden könne. Sauveur[1] scheint dieses zuerst

1 Hist. de l'Acad. de Paris 1700. p. 134. Sauveur bestimmte später die absolute Zahl der Vibrationen aus dem Gewichte, der Länge und der Spannung einer Metallsaite, auf die Weise, als dieses durch Bernoulli und später durch L. Euler geschehn ist, und fand für das tiefste A des Forte-Piano, also unser grofses A, 242 Schwingungen, wonach er auch einsah, dafs die früher von ihm ge-

aufgefunden zu haben, zeigte es der Akademie an, diese ernannte eine Commission zur Prüfung seiner Angaben, allein es war merkwürdig, dafs ihm damals die Versuche nicht gelingen wollten, weswegen die Untersuchung nicht weiter verfolgt, sondern blofs den Physikern und Musikern zur nähern Betrachtung empfohlen wurde. Dafs er die eigentlichen Stöfse, das erwähnte periodische Wallen der Töne, richtig beobachtet habe, unterliegt wohl keinem Zweifel, aber er ging offenbar in der Sache zu weit, sofern er die Consonanz überhaupt von der Abwesenheit der Stöfse ableitete, obwohl vor Augen liegt, dafs man beim Stimmen der Tasteninstrumente die völlige Gleichheit beider Saiten durch Beachtung der Stöfse am besten erreichen kann; allein die Versuche zur Bestimmung der absoluten Schwingungsmengen hat er mit Orgelpfeifen angestellt, die sich hierzu weniger eignen, weil man die minder scharf klingenden Töne derselben so genau nicht unterscheiden kann. Ferner hat er mit Unrecht angenommen, dafs jedes Zusammenfallen zweier in gleicher Zeit statt findenden Schwingungsmengen einen Stofs gebe, und hiernach ist die von ihm gefundene absolute Menge von Vibrationen nur ungefähr halb so grofs, als sie eigentlich seyn müfste, denn nach ihm soll bei den Stimmungen ein Ton von 100 Schwingungen in einer Secunde zum Grunde liegen, wie ihn eine 5 F. lange Pfeife giebt, eine 40 F. lange gäbe dann nur 12,5 und die möglichst kürzeste von $\frac{1}{16}$ Zoll 6400 als höchsten auf diese Weise zu erzeugenden Ton. Es folgt aber aus dem, was oben §. 39. mitgetheilt worden ist, dafs alle diese Schwingungsmengen doppelt zu nehmen sind, wenn sie mit der Wahrheit übereinkommen sollen.

Erst 1796 wiederholte Sarti[1] die nur unvollkommen bekannt gewordenen Versuche Sauveur's und zeigte sie in der Akademie zu Petersburg, wobei er sich zweier Pfeifen von 5 Fufs Länge, eines Monochords und eines Secundenpendels bediente, jedoch verfiel er in den nämlichen Fehler als sein Vorgänger, indem er die Menge der Vibrationen dieser Pfeife

---

fundenen doppelte gewesen seyn mufsten. Mém. de l'Acad. 1713. p. 324.

1 Nov. Act. Petrop. T. XIII. Hist. p. 81. Vergl. Voigt's Magaz. St. 1. S. 102.

Digitized by Google

gleichfalls zu 100 annahm und diesemnach für ā deren 436 bestimmte. Durch SARTI wurde die Sache hauptsächlich bekannt, jedoch wufste man meistens nur im Allgemeinen, dafs SAUVEUR auf die Stöfse aufmerksam gemacht und den Ton von 100 Schwingungen als Normalton vorgeschlagen habe[1], ohne dafs man darauf Bedacht nahm, das von ihm angegebene Mittel weiter zu vervollkommnen. Selbst CHLADNI[2], in allen Zweigen der Akustik so vollständig, erwähnt die Erscheinung der Stöfse nur beiläufig, kennt jedoch dieselben so genau, dafs er die gefundenen Stöfse doppelt nennt, also ihre Zahl von 100 auf 200 vermehrt, ohne den Grund hiervon anzugeben oder das oben nachgewiesene öftere Vorkommen derselben näher zu bezeichnen. W. WEBER, mit allen akustischen Erscheinungen so innig vertraut, kannte nicht blofs die Stöfse, sondern benutzte dieselben auch sehr sinnreich zu der von ihm vorgeschlagenen Compensation der Orgelpfeifen[3] und zur Ausmittelung der specifischen Wärme einiger Metalle[4]. Es heifst nämlich: „Die Schwingungen zweier neben einander tönender Körper, bei denen nur ein geringer Unterschied ihrer Tonhöhe statt findet, machen von Zeit zu Zeit auf das Ohr einen stärkern Eindruck, so oft die Maxima ihrer Schwingungen zusammenfallen, und diese stärkeren Eindrücke auf unser Ohr nennen wir *Schwebungen*." Dafs WEBER jedoch dieses Mittel nicht zur Auffindung der absoluten Schwingungsmengen der Töne nach irgend einer festen Stimmung benutzt habe, geht aus seiner Angabe hervor, wonach „der Ton ā, wie gewöhnlich die Stimmgabeln des Forte-Piano, 864 Schwingungen" haben soll, welches für c̄ deren 518,4 giebt, also 18 mehr als nach DULONG und 6 mehr als nach CHLADNI. Woher diese Bestimmung entnommen sey, vermag ich für jetzt nicht aufzufinden.

---

1 Vergl. TH. YOUNG Lect. on Nat. Phil. II. 607.

2 Akustik S. 37. wird der Vorschlag SAUVEUR's, den Ton einer 5 F. langen pariser Orgelpfeife als Norm anzunehmen, beiläufig erwähnt; später §. 188. wird bei Gelegenheit des Mitklingens blofs SARTI genannt, ohne Angabe und Erläuterung des Kunstausdrucks. In seinem Traité d'Acoustique sind zwar die Battements ausdrücklich genannt, aber ohne Andeutung irgend einer Bedeutsamkeit der Sache.

3 Poggendorff's Ann. XVI. 397., zunächst 399.

4 Ebend. XX. 177.

Digitized by Google

49) Der erste, welcher seit Sauveur und Sarti in der neuesten Zeit die Zahlen der Stöfse (*Schläge*) zur Auffindung der absoluten Schwingungsmengen der Töne benutzt hat, ist Hällström[1]. Um seine veränderte Theorie der Combinationstöne durch die Erfahrung zu prüfen, bediente er sich der Orgelpfeifen, und weil die Töne, deren Stöfse man untersuchen will, einander nahe liegen müssen, so war er genöthigt, blofs die tiefste Octave von $\underline{C}$ bis C in der Art zu benutzen, dafs er die Zahl der Stöfse zwischen den einander nächsten Intervallen $\underline{C}$ und $\underline{C}\sharp$, $\underline{D}$ und $\underline{D}\sharp$, $\underline{E}$ und $\underline{F}$, $\underline{F}\sharp$ und $\underline{G}$, $\underline{G}\sharp$ und $\underline{A}$, $\underline{B}$ und $\underline{H}$, $\underline{H}$ und C jedesmal im Mittel aus 10 Versuchen bestimmte. Nimmt man mit Chladni für $\underline{\underline{C}}$ 32 Schwingungen an, so giebt $\underline{C}$ deren 64. Ein Versuch mit Chladni's oben beschriebenem Tonometer gab deren 70, was ihm jedoch mit Recht nicht hinlänglich genau zu seyn schien. Zur Auffindung dieser Gröfse aus der Zählung der Stöfse führt dann folgende Betrachtung. Die Zahl der Stöfse, welche zwei zugleich angestimmte Töne geben, ist dem Unterschiede ihrer Oscillationsmengen gleich und diesemnach die Summe aller Stöfse in der ganzen Octave von $\underline{C}$ bis C dem Unterschiede der Schwingungsmengen $C - \underline{C}$, wenn anders diese beiden Töne richtig gestimmt sind, was sich unter allen diesen tiefen Tönen für diese am leichtesten erreichen läfst, und hieraus geht hervor, dafs $C - \underline{C} = \frac{1}{2} C = \underline{C}$, gleich der Summe der zur Erzeugung von $\underline{C}$ erforderlichen Schwingungen, ist. Die Genauigkeit der Versuche geht aus der geringen Abweichung der einzelnen Gröfsen vom Mittelwerthe genügend hervor, und so kann also das gefundene Resultat, nämlich $\underline{C} = 67{,}2$, als ein der Wahrheit sehr nahe kommendes gelten. Hiernach gehörten für $c = 268{,}8$, für $\overline{c} = 537{,}6$ Schwingungen und nach dem gemeinhin angenommenen Verhältnisse kämen auf $\overline{a} = 896$ Vibrationen, mithin bedeutend mehr als Weber, Chladni und Dülong gefunden haben. Hällström findet dieses übereinstimmend mit der Aeufserung der Musiker, dafs die Stim-

1 Poggendorff's Ann. XXIV. 488. Biot Traité T. II. p. 144 ff. handelt ausführlich von diesen Stöfsen und giebt auch ein Mittel an, die Stöfse zweier Pfeifen, die um eine genau gemessene Gröfse verlängert oder verkürzt werden können, zu zählen, allein Versuche hat er nicht angestellt und daher nur ein theoretisch gefundenes Resultat mitgetheilt.

Digitized by Google

mung der Orgeln sehr hoch sey; allein die von mir in verschiedenen Gegenden Deutschlands geprüften und verglichenen hatten vielmehr eine bedeutend tiefere Stimmung, als die Orchester-Instrumente, weil jene die ältere ist, die Stimmung der letzteren aber wegen des bessern Klanges der Bogeninstrumente in der neuern Zeit merklich höher getrieben wurde.

49b) Die so eben mitgetheilten Resultate sind ausnehmend schätzbar, wenn gleich die unerwartete Höhe der Töne etwas Auffallendes hat, sie lassen aber die eigentliche Aufgabe insofern noch in einigem Dunkel, als die Stimmung der gebrauchten Orgel nicht mit derjenigen bekannter Orchester verglichen wurde. Zur Anstellung einer solchen Vergleichung würde aber erforderlich seyn, nach dem bestimmten $\underline{A}$ zunächst A, hiernach a und dann erst $\bar{a}$ rein zu stimmen, weil dieses eingestrichene $\bar{a}$ der gebräuchliche Normalton für die Orchesterstimmungen ist, eine Aufgabe, die grofse Schwierigkeiten darbietet, wenn man sich dabei auf das blofse Gehör verlassen mufs, da ohnehin die Töne der Orgelpfeifen nicht so scharf sind, um geringe Abweichungen ihrer Stimmung mit so grofser Genauigkeit wahrzunehmen, als eine definitive Entscheidung über die ihnen zugehörigen Schwingungsmengen wünschen läfst, nicht zu rechnen, dafs die durch W. Weber[1] bemerkte Verschiedenheit der Tonhöhe, die bei der nämlichen Pfeife in Folge des ungleichen Anblasens statt findet, allezeit einige Ungewifsheit erzeugen mufs[2]. Der letztere Umstand kommt zugleich rücksichtlich dieser Versuche im Allgemeinen in Betrachtung, bei denen aufserdem der Nachtheil Berücksichtigung verdient, dafs sie mit den tiefsten Tönen angestellt wurden und nicht füglich mit andern gemacht werden konnten, deren Stimmung jedoch vom Ohre keineswegs mit so grofser Genauigkeit wahrnehmbar ist, als die der mittlern Töne, ein Einwurf, welchen namentlich Dülong bei mündlicher

---

1 Poggendorff's Ann. XVI. 397.

2 Dafs das Ohr selbst der geübtesten Musiker die Reinheit eines Tones nicht weiter, als bis höchstens 0,02 der gesammten Vibrationsmengen zu unterscheiden vermöge, ist unbestreitbare Thatsache, deren Richtigkeit aus vielen der nachfolgenden Betrachtungen mit Sicherheit hervorgeht. Das Reinstimmen in absoluter Schärfe ist ungleich schwerer, als man gewöhnlich glaubt. Vergl. §. 52. Anm.

Digitized by Google

Unterhaltung über dieses Problem gegen die Anwendung dieser Methode im Allgemeinen geltend machte. Alle diese Schwierigkeiten hat Scheibler glücklich vermieden und ist daher zu einem Resultate gelangt, wonach die Frage über die absoluten Mengen der Vibrationen, die den Tönen unserer gebräuchlichen Instrumente zugehören, keinem weitern Zweifel mehr unterliegt.

50) Heinrich Scheibler[1], Seidenmanufacturist zu Crefeld, leidenschaftlicher Liebhaber der Musik, wurde durch das Bestreben, völlig reingestimmte Instrumente zu erhalten, durch Jahre lang fortgesetzte Versuche dahingebracht, die Stöfse zur Erreichung seines Zweckes auf eine Art anzuwenden, die nichts weiter zu wünschen übrig läfst, und es verlohnt sich daher allerdings der Mühe, die Hauptsache seiner Verfahrungsweise und der dadurch erhaltenen Resultate mitzutheilen. Ein grofser Vorzug dieser Experimente vor allen frühern dieser Art beruht auf dem Gebrauche der Stimmgabeln, die in gehöriger Vollkommenheit verfertigt unter allen Instrumenten den am schärfsten aufzufassenden und am leichtesten zu bestimmenden Ton geben und auf welche blofs die ungleiche Temperatur einen bisher für unbedeutend gehaltenen, hier jedoch allerdings berücksichtigten Einfluls ausübt. Die gebrauchten Stimmgabeln wurden von englischem Gufsstahl (*Huntsmans-Steel*) ohne Härtung verfertigt, beide Schenkel möglichst gleichmäfsig an Stärke und Gestalt, unten mit einem nicht zu dünnen, oberflächlich zur Schraube geschnittenen Stiele c, welcher vor dem Abstimmen mit dem hölzernen Hefte b versehn wird, damit die Wärme der berührenden Hand und etwa durch das Anfassen erzeugter Rost der genauen Stimmung nicht schaden möge. Das untere dünnere Ende des Stieles d ist zu einer accuraten Schraube geschnitten, um in einen hölzernen Träger AB eingeschraubt zu werden, in dessen oberes Ende ein Stück Messing zum Einschneiden der weiblichen Schraube eingekittet wird, das untere Ende aber dient dazu, um in einen Resonanzboden oder einen geeigneten Klotz in dazu paſsliche Löcher fest eingesteckt zu werden. Solcher

Fig. 148.

Fig. 149.

1 Der physikalische und musikalische Tonmesser. Essen 1834. 8. Eine vorläufige Anzeige der Hauptsache findet sich in Poggendorff's Ann. 1833. St. 11. XXIX. 390.

Digitized by Google

hölzerner Träger bedarf man zwei oder mehrere, um jederzeit diejenigen Gabeln hineinzuschrauben, wovon man Gebrauch machen will. Um sie zum Tönen zu bringen, werden sie mit einem Wulste aus wollenem Garn geschlagen, welcher an einem etwa 18 Zoll langen fischbeinernen Stäbchen durch Umwickeln und Durchnähen befestigt ist, und jede Gabel ist verwerflich, deren Ton nicht 30 Secunden vernehmlich anhält, bei den besten dauert er 80 Secunden. Für genaue Versuche ist erforderlich, dafs sie in einem nicht geheizten Zimmer von 15 bis 18° R. mittlerer Temperatur angestellt werden, auch darf man die nämlichen Gabeln nicht zweimal an einem Tage zur Anwendung bringen, weil sie die geringen, für so feine Messungen aber noch merklichen Temperaturerhöhungen, die sie durch die Berührung des Experimentators unvermeidlich annehmen, in langer Zeit nicht verlieren. Solcher genau abgestimmter Gabeln verfertigte Scheibler 52 für die Intervalle von a bis $\bar{a}$, die auf eine eigenthümliche Weise nach seinem Metronome so eingerichtet waren, dafs die Zahl der Stöfse aller zwischen diesen Grenzen durch die verschiedenen Intervalle erzeugten Töne genau gemessen werden konnte, aus deren Summe dann nach dem oben §. 49. angegebenen Gesetze die absolute Menge der Schwingungen von a und $\bar{}$ hervorging.

Das *Metronom* ist bereits oben [1] beschrieben und nach dem dabei zum Grunde liegenden Principe erläutert worden. Dasjenige, dessen sich Scheibler bediente, besteht aus einem blofsen Pendel, welches auf feinen stählernen Messerschneiden schwingend an einem Stative ohne einschliefsenden Kasten aufgehangen ist und, da ihm die Compensation fehlt, wegen Aenderung der Temperatur jederzeit für die Versuche regulirt werden mufs, wozu die Coincidenzen seiner Schwingungen mit denen des Pendels einer Uhr benutzt werden, die im ganzen Jahre keine 5 Minuten abweicht, welches für völlig genaue Coincidenzen beider Pendel die ganze Minute nicht

---

1 *Bd. VII. S. 399.* Ein seitdem bekannt gewordenes Metronom von Bizaimé zu Amiens ist eine sinnreich construirte Uhr, um die verschiedenen Tacte anzugeben. S. Bulletin de la Soc. d'Encouragement Nov. 1831. p. 475. Daraus in Dingler's Journ. Th. XLIV. S. 111.

Digitized by Google

völlig um 0,00001 ungewifs macht und daher für die Zahl der Schallvibrationen einen verschwindenden Fehler läfst. Das Pendel, aus einer Kupferstange bestehend, theilt die Minute in 50 bis 90 Theile und die auf der Stange gravirten Zahlen geben an, welche Abtheilung gerade statt findet. Ist dasselbe daher, wie bei den meisten Versuchen zu geschehn pflegt, auf 60 gestellt, so mufs es mit dem Secundenpendel der Uhr isochronisch schwingen. Zur genauen Regulirung dient die Mikrometerschraube b, wodurch die Linse höher oder tiefer gestellt wird, welches Verfahren der kleine Zeiger d erleichtert. Das obere Gewicht e wird nicht, wie gewöhnlich, verschoben, sondern vermittelst einer Mikrometerschraube f höher und tiefer gestellt, deren Umdrehungen durch einen Zeiger auf der getheilten Scheibe k gezählt werden, indem der Stift h bei jeder ganzen Umdrehung die Feder i klingen macht. Jede Vermehrung der Schwingungen um eine Einheit ist auf der Stange durch einen Strich bezeichnet, man kann hiernach also das Pendel auf 60, 61, 62 u. s. w. Schwingungen in einer Minute stellen, jede dieser Abtheilungen aber wird durch die Mikrometerschraube f vermittelst der getheilten Scheibe k wieder in 10 Theile getheilt, wodurch also Zehntel jeder einzelnen Schwingung gegeben sind, die dazu dienen, die geringsten Abweichungen der gemessenen Mengen von Stöfsen auf die kleinsten Zeittheilchen zurückzuführen und dadurch die Unterschiede der Schwingungszahlen eines gegebenen Tones und des normalen bis auf Tausendstel einer einzigen Vibration zu finden. Nach diesem Metronom wurde eine Reihe von Stimmgabeln so abgestimmt, dafs diese, die zum Unterschiede Scalengabeln heifsen, zu je zwei mit einander verglichen, bei der Stellung des Pendels auf 60 jederzeit 4 Stöfse auf jede Schwingung gaben. Einige ohne grofse Sorgfalt, ja man darf sagen nur im Rohen, von mir gemeinschaftlich mit dem Erfinder blofs auf meinem Zimmer mit den beschriebenen Apparaten angestellte Versuche haben mich von der unerwarteten Genauigkeit und Schärfe dieser Methode überzeugt, indem eine Berechnung ergab, dafs die Summe aller gröfstmöglich angenommenen Fehler keine gröfsere Ungewifsheit als von 0,13 einer Vibration zurückliefs, wonach man bei genügender Sorgfalt die Fehlergrenze auf nicht mehr als höchstens 0,01 einer Vibration setzen darf. Zwischen den Scalen-

Fig. 150.

gabeln wurden andere eingeschoben, die Mengen der Stöfse, die sie mit einander machten, gezählt, und auf diese Weise durch eine Menge Versuchsreihen, deren Mittheilung im Einzelnen hier zu weitläuftig seyn würde, folgende Mittelwerthe für den Ton ā erhalten:

1) 12 Versuchsreihen von a bis ā	gaben	878,6666 ...
2) Die Stöfse von a bis $\bar{c}\sharp$	—	878,4470
3) Die gleichschwebenden Quinten a, ē u. $\bar{c}\sharp$, $\bar{g}\sharp$	—	879,2200
4) Von a bis ē	—	878,5200
5) Von gleichschw. $\bar{c}\sharp$ bis $\bar{d}$	—	878,5723
6) Von gleichschw. $\bar{d}$ bis ē	—	878,3520

Im Mittel aus allen Versuchen kommen demnach auf das von Scheibler gebrauchte ā 878,62965... oder in runder Zahl 878,63 Schwingungen, wofür man bei dem Uebergewichte der ersten, durch das Tonverhältnifs nicht afficirten Messung 878,67 setzen mufs.

Mit dieser genau bestimmten Gröfse wurden die Stimmungen der bekanntesten Orchester vermittelst der Stöfse, welche die von dort her erhaltenen Stimmgabeln mit dem normalen ā gaben, verglichen. Hiernach hat dieser Ton zu Paris:

1) bei der *Opéra, académie de musique*	853,5
2) dieselbe, anderes Exemplar	867,5
Unterschied	14,0
3) *Conservatoire, des concerts et Italiens*	869,9
4) dieselbe, anderes Exemplar	881,4
Unterschied	11,5
5) dieselbe, älteres Exemplar	870,1.

Die Gabel Nr. 2. ist von Petitbout, *luthier de l'opéra*, und die Nr. 3. von Gand, *luthier du conservatoire de musique* (*Rue croix des petits champs*), beide sind zuverlässige, eigends für diese Vergleichung bestellte Exemplare, die also die Pariser Orchesterstimmung im Mittel das ā = 868,7 Schwingungen in einer Secunde geben.

Vom Berliner Orchester wurde nur eine einzige, für zuverlässig geltende Gabel verglichen, die 883,25 Vibrationen gab, woraus also folgt, dafs dort eine sehr hohe Stimmung üblich ist. Vom Wiener Orchester wurden 6 Stimmgabeln verglichen.

Nr. 1.	hatte	867,33
— 2.	—	872,67
— 3.	—	878,30
— 4.	—	880,20
— 5.	—	881,74
— 6.	—	889,74

Die Uebereinstimmung dieser ohne Zweifel von verschiedenen Wiener Instrumenten entnommenen Stimmgabeln zeigt die Genauigkeit und Schärfe der dort üblichen Stimmung. Als die richtigste Gabel darf die Nr. 5. betrachtet werden, die vom Professor Blahetka mit dem Bemerken herrührt, dafs sie die ächte Wiener Stimmung angebe.

Zur leichtern Uebersicht wird es nützlich seyn, die hier über die absoluten Schwingungsmengen der Töne erhaltenen verschiedenen Bestimmungen zusammenzustellen.

1) Nach L. Euler's Versuchen mit einer gespannten Saite aus der Berechnung der Länge, Dicke und spannenden Kraft hat das eingestrichene a (ā) in 1 Sec. 784 Schwingungen.

2) Nach Chladni als bequemes Mittel aus früheren Versuchen und aus dem Tone einer Pfeife von gegebener Länge hat ā 853,34 Schwingungen.

3) Nach demselben aus den Schwingungen des achten Theils eines Stabes, welcher in 1 Secunde 4 Schwingungen macht, hat ā 853,34 Schwingungen.

4) Nach Dülong nach seinen Messungen einer bei 22° C. schwingenden Luftsäule, deren Vibrationen vermittelst der Sirene gezählt wurden, hat ā 834 Schwingungen.

5) Nach Sauveur und Sarti in Folge ihrer Messungen der Stöfse bei Orgelpfeifen hat ā 872 Schwingungen.

6) W. Weber giebt ohne Erwähnung der Versuche, worauf sich diese Bestimmung gründet, für ā 864 Schwingungen an.

7) Hällström fand vermittelst der Stöfse aus den Tönen der tiefsten Orgelpfeifen für ā 896 Schwingungen.

8) Scheibler erhielt bei seinen Versuchen mit einem von Chladni angegebenen Tonometer, auf die nämliche Art, als letzterer selbst nach der unter Nr. 3. mitgetheilten Angabe, für ā 870 Vibrationen.

9) Scheibler's Stimmgabeln, die auf übliche mittlere

Digitized by Google

Stimmung abgerichtet waren, zunächst aber, der Versuche wegen, nur unter sich im gehörigen Verhältnisse seyn mufsten, gaben in Folge der Summe aller zwischen a und ā gezählten Stöfse für den letztern Ton im Mittel 878,67 oder $878\frac{2}{3}$ Schwingungen.

10) Die Stimmgabeln des Conservatoriums zu Paris geben im Mittel für ā 868,7 Schwingungen.

11) Die Berliner Orchesterstimmung ist vermuthlich so, dafs zu ā 883,25 Schwingungen gehören.

12) Die Wiener Orchesterstimmung wird am richtigsten so angenommen, dafs ā 881,74 Schwingungen hat.

Bei diesen Bestimmungen ist in denjenigen Fällen, wo nicht ā unmittelbar gemessen wurde, also bei den Nummern 1 bis 5, das Verhältnifs von $\bar{c}$ zu ā = 3 : 5 angenommen, was zwar im Allgemeinen richtig ist, dennoch eine geringe Aenderung geben würde, wenn man es etwas verschieden annehmen wollte.

51) Die so eben beschriebenen Stöfse sind leicht wahrnehmbar, wenn man sie auf die angegebene Weise künstlich hervorbringt, und nicht zu verkennen, wenn sie unerwartet zum Vorschein kommen. Bei weitem weniger ist dieses der Fall mit zwei verwandten Erscheinungen, wovon die eine, die der sogenannten *Combinationstöne*, so vollständig auf der nämlichen Ursache beruht, dafs meistens von beiden zugleich gehandelt wird[1]. Um die Sache hier zuerst im Allgemeinen deutlich zu machen, möge die Entstehung der Stöfse als bekannt vorausgesetzt werden. Sind bei diesen die Anschwellungen, die Maxima ihrer Intensitäten stark, so geben sie bei ihrer regelmäfsigen Reihenfolge unleugbar solche Pulsus, die nach der oben im Anfange dieses Artikels angenommenen Theorie einen Ton erzeugen müssen, sobald sie nur zahlreich genug in einer gegebenen Zeit erfolgen. Ist es gegründet, dafs 32 Vibrationen in einer Secunde den tiefsten wahrnehmbaren Ton geben[2], so darf ihre Zahl nicht geringer seyn, wenn ein durch sie erzeugter Ton zum Vorschein kommen

---

1 Dafs diese Töne nach Purkinje blofs subjectiv seyn sollen, s. Kastner Archiv, 1826. I. 39., ist weder mit der Theorie noch der Erfahrung vereinbar.

2 Das Nähere hierüber in §. 98.

Digitized by Google

soll, mithin wird man in den meisten Fällen, wenn etwa 10 8, 4, 2, 1 oder noch weniger Stöfse in 1 Sec. erfolgen, nu diese, aber keinen durch sie erzeugten Ton hören; dageger ergiebt eine kurze Uebersicht der bisherigen Untersuchungen dafs sie sich allerdings häufig zeigen müssen. Wenn aber dies allgemeine Betrachtung zu dem Resultate zu führen scheint als sey die ganze Theorie derselben höchst einfach, so ergieb sich aus den bisher bekannt gewordenen Untersuchungen derselben, dafs dieses keineswegs der Fall ist, und da insbesonder die Erfahrung nicht allezeit mit der Theorie vollkommen übereinstimmt, aufserdem die Wahrnehmung der Combinationstöne vielen Schwierigkeiten unterliegt, so will ich versuchen, die Sache nach meiner Ansicht möglichst deutlich zu machen, mufs aber zur weitern Untersuchung auf die angegebenen Quellen verweisen.

Der erste, von dem man weifs, dafs er die Combinationstöne beachtet und davon, jedoch nur im Allgemeinen, geredet hat, ist Georg Andreas Sorge[1], welcher jedoch diese und die sogenannten Nebentöne keineswegs genugsam von einander unterscheidet. Was Romieu[2] in der Akademie der Wissenschaften zu Montpellier darüber sagte, wurde wenig beachtet, desto mehr dasjenige, was Tartini[3] bekannt machte, wonach man sie später mit dem Namen der *Tartini'schen Töne* bezeichnete. Die Theorie derselben wurde zuerst gründlich entwickelt durch La Grange[4], und ausführlich handelte darüber Matthew Young[5], von dem sie *grave harmonic tones* genannt wurden. Im Anfange dieses Jahrhunders kam das Problem sowohl in England als auch in Deutschland zur lebhaften Discussion. Veranlassung dazu gab eine gehaltreiche Abhandlung von Thomas Young[6] über Schall und Licht,

---

1 Anweisung zur Stimmung der Orgelwerke und des Claviers u.s.w. Hamb. 1744. S. 40. Dessen Vorgemach der musikalischen Composition. 1740. Cap. 5.

2 Chladni Akustik S. 208.

3 Trattato di Musica secondo la vera Scienza dell' Armonia. Padova 1754.

4 Recherches sur le Son; in Miscell. Taurin. T. I. §. 64.

5 Enquiry into the principal phaenomena of sounds and musical strings. Dubl. 1784. 8.

6 Philos. Trans. 1801. Vergl. dessen Lectures. T. II. p. 607.

worin er das Werk des Dr. Smith[1] wegen der Undeutlichkeit der Darstellung tadelte und sich hierüber eine Rüge des Prof. Robison[2] zuzog, wogegen er sich vertheidigte und dabei bemerkte, dafs die Stöfse bereits durch Sauveur entdeckt worden seyen und also nicht als eine bedeutende Erfindung des Dr. Smith gelten könnten. Als ein neuer Vertheidiger des letztern und Gegner des durch Th. Young aufgestellten Zusammentreffens (*Coalescenz*) zweier Töne trat Gough[3] auf, und veranlafste hierdurch eine Reihe von Streitschriften[4], worin er seine Theorie der zusammengesetzten Töne (*compound sounds*) vertheidigte. Die ganze Reihe dieser Abhandlungen machte Vieth[5] in Deutschland bekannt, wo man durch Chladni's gründliche Untersuchungen bereits mit dem Wesen der Sache vertraut war. Auffallend war der Vorschlag Vogler's[6], die kostbaren und unbequemen grofsen Orgelpfeifen dadurch entbehrlich zu machen, dafs man ihre Töne durch die Combination von zwei hohen erzeugte, wogegen sich jedoch der Recensent dieses Werkes[7], Chladni, Vieth u. a. erklärten, die Idee ist nie wirklich ausgeführt worden und kann auch nach dem, was bis jetzt über die Combinationstöne aus der Erfahrung bekannt ist, nie ausgeführt werden. Dafs sie nicht zu den subjectiven Erscheinungen gehören, wie Purkinje[8] annimmt, geht aus dem Gesagten genügend hervor.

Virtu scheint mir in denjenigen Bemerkungen, die er den Aufsätzen der englischen Physiker hinzufügt, die Sache ihrem Wesen nach sehr deutlich gemacht und namentlich in Beziehung auf das Praktische alles gesagt zu haben, was darüber zu wissen wichtig ist. Zuvörderst bemerkt er, dafs manche die Existenz der Combinationstöne überhaupt leugnen. Obgleich dieses durchaus irrig ist, so läfst sich doch auf der andern Seite nicht in Abrede stellen, dafs gewifs nur wenige sie jemals gehört haben, wenn sie nicht ausdrücklich darauf ach-

---

1 Dr. Smith Harmonics. Cambr. 1759. 8.
2 Encyclop. Brit. Suppl. Art. Temperament. p. 652.
3 Manchester Memoirs. T. V. P. II. p. 653.
4 In Nicholson's Journ. of Nat. Phil. von 1802 und 1803.
5 G. XXI. 265.
6 Handbuch der Harmonielehre. Prag 1802. 8.
7 Allgem. deutsche Biblioth. LXXXIII. S.419.
8 Kastner's Archiv 1826. Hft. 1. S. 39.

teten. Allerdings heifst es mit Recht, dafs diejenigen ei stumpfes Gehör haben müssen, die sie gar nicht wahrnehme können, allein ohne besondere Beachtung sind sie so schwacl dafs sie neben den stärkern sie erzeugenden Tönen allzuseh verschwinden. Ihre Menge ist sehr grofs und ich führe dahe nur diejenigen an, die von Vieth namhaft gemacht worden sin und die ich sämmtlich mit Erfolg hervorgebracht habe. Au einem Forte-Piano bemüht man sich vergebens, sie zu erzeu gen, blofs Bogeninstrumente und Pfeifen geben dieselben, aucl soll man die tiefern Orgelpfeifen nicht zu ihrer Erzeugun anwenden, worüber ich aus Erfahrung nicht urtheilen kann aufser dafs Düloxg zwei tiefere Pfeifen, deren Töne einander sehr nahe lagen, gleichzeitig tönen liefs, um mir die Undeutlichkeit beim Zählen der Stöfse zu zeigen, wodurch ein unkenntliches, widerliches Getöse entstand. Mit Sicherhei vernimmt sie jedes nicht eigentlich stumpfe Gehör, wenn sie auf einer Geige durch starkes und etwas anhaltendes Streichen von zwei Saiten gebildet werden und man sie selbst hervorbringt oder das Ohr etwas nahe über die Saiten hält. Der am leichtesten entstehende Combinationston wird nach Vieth erhalten, wenn man die $\bar{\bar{d}}$ Saite einer Geige in $\bar{e}$ stimmt und diese zugleich mit der $\bar{a}$ Saite anhaltend und gleichmäfsig streicht, wobei das tiefe A zum Vorschein kommt. Hat hierbei in Gemäfsheit der obigen Angabe §. 50. das $\bar{a}$ 880 Schwingungen, so hat $\bar{e}$ deren $0{,}75 \times 880 = 660$, und da $3 \times 220 = 660$ und $4 \times 220 = 880$ ist, so erfolgen durch beide Töne 220 Stöfse in 1 Secunde, die zu $A = \frac{880}{4}$ gehören, wenn aber erst nach 2 Coincidenzen der Schwingungen ein Stofs erfolgt, so können nur 110 solche Stöfse statt finden, die also $\underline{A}$ geben müfsten.

Auf gleiche Weise erhält man mit $\bar{\bar{c}}$ und $\bar{\bar{e}}$ das c, aus $\bar{\bar{h}}$ und $\bar{\bar{d}}$ das g u. s. w. Die eigentliche Tiefe des erzeugten Combinationstones ist selbst für ein geübtes Ohr etwas schwer zu bestimmen, und wollte jemand die Versuche hierüber weiter fortsetzen, so würde rathsam seyn, sich eine nach der durch Scheibler angewandten Methode genau gestimmte Stimmgabel zu verschaffen, hiernach die Geige völlig rein zu stimmen und dann durch unmittelbare Vergleichung mit einem andern Instrumente den Combinationston mit Sicherheit auszu-

Digitized by Google

mitteln, um über die Zahl der ihn erzeugenden Stöfse unzweifelhaft zu entscheiden.

52) Man pflegt meistens das Problem der Combinationstöne ganz so einfach aufzufassen, wie es hier dargestellt ist, mindestens geschah dieses durch Chladni, welcher selbst ein Schema zur Versinnlichung des Zusammentreffens der Schwingungen bei zwei Tönen mittheilt, die im Verhältnifs von 4:5 zu einander stehn, wobei es also nur darauf ankommt, ob die Coincidenzen a, a, a.... zahlreich genug in einer Secunde erfolgen, um einen Ton zu geben, und ob sie kräftig genug sind, damit der durch sie gebildete Ton neben den beiden erzeugenden Tönen noch gehört werden könne, wobei sich von selbst versteht, dafs die Stöfse dann aufhören wahrnehmbar zu seyn, wenn ein Combinationston entsteht, denn man nimmt an, dafs ein Ton mindestens 32 Vibrationen in 1 Sec. erfordere, mehr als 10 Stöfse in einer gleichen Zeit sind aber nicht für sich unterscheidbar. Neuerdings hat der Baron Blein[1] eine Reihe von Combinationstönen bekannt gemacht, welche durch Versuche von ihm erhalten wurden und die sich nicht auf ein so einfaches Schema zurückbringen lassen. Der eine erzeugende Ton war bei allen c, dessen Schwingungsmengen = 256 in 1 Sec. angenommen und hiernach dann die des zweiten erzeugenden Tones und die aus beiden folgenden Coincidenzen als Ursache des Combinationstones berechnet werden; allein aus den vorhergehenden Untersuchungen folgt, dafs bei der Unsicherheit der Stimmung und der Unmöglichkeit, diese bis zur genauesten Schärfe durch das blofse Gehör zu unterscheiden (wie aus der oben nachgewiesenen Verschiedenheit der Stimmgabeln bei den nämlichen Orchestern nach Scheibler evident hervorgeht), diese Bestimmung überall nicht als sicher gelten kann, durch welchen Einwurf jedoch alle hierauf gebauete Folgerungen als schwankend erscheinen müssen. Es scheint mir daher nicht zweckgemäfs zu seyn, auf eine nähere Prüfung der zwei zugleich gehörten Combinationstöne, die Blein angiebt, näher einzu- Fig. 151.

1 Exposé de quelques principes nouveaux sur l'acoustique et la théorie des vibrations, et sur l'application à plusieurs phénomènes de physique. Par le Baron Blein. Par. 1827.

gehn. W. Weber[1] erweitert die oben angegebene Theorie insofern, als er sagt, dafs das einfache Verhältnifs der Schwingungsmengen auch nur ein genähertes seyn und z. B. zwischen 5:6 und 4:5 liegen könne, in welchem Falle man bald den einen, bald den andern Combinationston hören müsse. Es lasse sich dann das einfache Verhältnifs, z. B. a:b, durch einen Kettenbruch, nämlich

$$\frac{a}{b} = \cfrac{1}{\alpha + \cfrac{1}{\beta + \cfrac{1}{\gamma} + \ldots}}$$

ausdrücken und werde demnach das Verhältnifs a:b so wenig von $\frac{\beta}{\alpha\beta+1}$, $\frac{\beta\gamma}{\alpha\beta\gamma+\alpha+\gamma}$ abweichen, dafs in der zu so viel Stöfsen erforderlichen Zeit keine störende Abweichung sich zeige und ein Tartini'scher Ton auf gleiche Weise entstehe, als wenn das wahre Verhältnifs wirklich statt finde, jedoch ein schwacher.

Dafs es solche genäherte Verhältnisse gebe, die man bequem durch Kettenbrüche ausdrücken könne, folgt unmittelbar aus den Schwingungsgesetzen und bedarf wegen der Klarheit der Sache an sich keiner weitern Erläuterung, sofern aber eine Anwendung davon auf die Combinationstöne gemacht wird, ist wohl zu berücksichtigen, dafs diese ein anhaltendes genaues Zusammentreffen der Vibrationen nothwendig erfordern. Denn wäre ein solcher für das genaue Verhältnifs von a:b berechnet, und statt dessen das genäherte von a:b(1,001) vorhanden, so würden nach 500 Combinationen die Schwingungen des einen Tones genau zwischen die des andern fallen und keine weitere Erzeugung des Combinationstones möglich seyn. Hierin liegt die Ursache davon, dafs zu ihrer Erzeugung eine Art von Probiren unentbehrlich ist, indem man durch geringes Verrücken des Fingers auf der Saite und durch verändertes Streichen dahin zu gelangen suchen mufs, dafs das erforderliche Verhältnifs genau hergestellt werde. So leicht es übrigens ist, die Menge der Vibrationen eines Tones geometrisch genau anzugeben und hiernach sowohl die Tonverhältnisse als auch die Combinationen theoretisch zu bestimmen,

1 Poggendorff's Ann. XV. 216. Hierdurch kenne ich die angegebene Schrift.

Digitized by Google

ebenso schwer ist es, diese Zahlen in der Wirklichkeit zu erhalten, indem mitunter momentan eintretende Nebenbedingungen, die aus der Temperatur, aus der Art des Anblasens oder Streichens, den eigenthümlichen Vibrationen des Körpers des Instruments, dem Einflusse des Mittönens u. s. w. hervorgehn, den Ton an sich zwar nicht auf eine durch das bloſse Gehör wahrnehmbare Weise verändern, wohl aber so modificiren können, daſs die mathematisch abgeleiteten Folgerungen nicht weiter statt finden.

52) Die neuesten Erweiterungen hat das vorliegende Problem durch Hällström[1] erhalten, welcher gegen die bisher allgemein, unter andern auch von Brewster[2], angenommene Theorie einige gegründete Einwürfe vorbringt. Dahin gehört hauptsächlich die Erfahrung, daſs, wenn zwei gleichklingende Töne stufenweise stets mehr auseinander weichen, die Geschwindigkeit der Stöſse ohne einen Sprung ununterbrochen wächst, statt daſs sie abwechselnd schneller und langsamer erfolgen müſsten. Wären die Schwingungszahlen zweier Töne $=2r$ und $2r+1$, so könnte durch sie nur ein Stoſs in der Secunde entstehn, bei einer geringen Veränderung aber müſsten für $2r$ und $2r+2$, also bei einem gemeinschaftlichen Divisor, mindestens zwei statt finden, jedoch zeigt sich in der Erfahrung kein Sprung, sondern stets ein allmäliger Uebergang. Ferner müſste der Ton $\bar{a}$, wenn man diesen zu 880 Schwingungen annimmt, mit $\bar{c}$, dem hiernach 528 zukommen, nach dem Verhältniſs von 5 : 3 und der hiernach folgenden Regel $\frac{528}{3} = \frac{880}{5} = 176$ den dieser letztern Schwingungszahl zukommenden Ton F geben, wogegen aber dessen Octave f mit 352 Vibrationen gehört wird[3]. Hällström stellt daher folgende, durch Scheibler's

---

1 Poggendorff's Ann. XXIV. 438.

2 Edinb. Encyclopaedia T. X. art. Harmonics. p. 641.

3 Es ist mir gleichfalls aufgefallen, daſs die Combinationstöne leicht höher sind, als sie der Theorie nach seyn sollen, der Unterschied beträgt jedoch meistens eine Octave, indem man statt $\underline{G}$, G, und wie hier statt F, f hört. Was Hällström weiter über das Schwankende in der Bestimmung des Verhältnisses 3 : 5 und eine statt findende Willkür bei der Bestimmung desselben sagte, wird durch die Berücksichtigung modificirt, daſs zwar dieses Verhältniſs der Theorie nach in absoluter Schärfe statt finden sollte, in der Wirklichkeit aber

genaue Versuche gleichfalls bestätigte Theorie auf. Sind r und s die Schwingungsmengen der combinirenden Töne und x die des Combinationstones, so müssen in der Zeit $= \frac{1}{x}$, die einer Schwingung des Combinationstones zugehört, zugleich $\frac{r}{x}$ und $\frac{s}{x}$ Vibrationen der combinirten Töne vollbracht werden. Es mufs ferner ein solches Verhältnifs zwischen ihnen statt finden, dafs für die Zeit $\frac{1}{x}$ der Werth $\frac{s}{x} = \frac{r}{x} + 1$ ist, oder die eine Schwingungsmenge die andere um eine Einheit übertrifft, woraus dann $x = s - r$ wird und also die Schwingungszahl des ersten Combinationstones gegeben ist, der dann wieder mit einem der erzeugenden stofsen oder einen neuen Combinationston erzeugen kann u. s. w. Hieraus entsteht für die Zahl der Combinationstöne folgendes Schema:

ursprüngliche Töne	Combinationstöne
r, s	s — r erster
s — r, r	2r — s zweiter
2r — s, s	2(s — r) dritter
2r — s, s — r	3r — 2s vierter
u. s. w.	u. s. w.

woraus jedoch nicht folgt, dafs jederzeit alle diese Combinationstöne gehört werden, vielmehr nehmen die sie erzeugenden Schwingungen an Stärke stets mehr ab, meistens wird nur der erste, selten der zweite gehört, und zwei zugleich wahrzunehmen dürfte überall unmöglich seyn. Diese Theorie stimmt sehr genau mit der Erfahrung überein, wie daraus

---

durch das bloſse Gehör nicht so darstellbar ist, ohne dafs jedoch eine geringe Abweichung den aufgestellten Einwurf zu beseitigen vermöchte. Da hierüber also noch fortdauernd einige Dunkelheit herrscht, so wäre es nicht übel, die Aufgabe noch einmal und zwar mit rein gestimmten (§. 53.) Tönen, deren Schwingungszahlen also genau bekannt sind, zu untersuchen. Hierdurch würde eine Hauptschwierigkeit beseitigt. Eine andere liegt darin, dafs das Ohr jederzeit durch die beiden combinirten Töne und den Combinationston gleichzeitig afficirt wird, wovon die erstern noch obendrein weit stärker sind, als der letztere.

Digitized by Google

hervorgeht, dafs Hällström fast sämmtliche theoretisch bestimmte Combinationstöne dargestellt hat. Hierzu bediente er sich einer Geige und legte bei der Berechnung die Kirnberger'schen Tonverhältnisse zu Grunde, desgleichen die durch Chladni angenommene Bestimmung der absoluten Schwingungszahlen, nämlich für $\bar{c} = 512$, da diese Bestimmung gleichgültig ist, sobald es blofs auf das Verhältnifs der combinirten Töne ankommt.

Digitized by Google

Nachfolgende Tabelle enthält eine Uebersicht der ursprünglichen und der daraus entstandenen Combinationstöne.

Ursprüngl. Töne.		Combinationston.		Ursprüngl. Töne.		Combinationston.	
c	d	e	= 640	d	g	g	= 384
						g	= 768
c	d	a+	= 429,3+				
c	d♯	g♯+	= 809,1+	d♯	g♯	g♯	= 404,6
						g♯	= 809
c	e	g	= 768	d♯	g	d♯+	= 303,4+
		c	= 512	d	h	g	= 768
c	f	f	= 682,7			g	= 384
c	f♯	d♯	= 606,8	e	b	c♯	= 539,4
c	g♯	d♯	= 606,8—	e	c	g	= 768
c	a	f+	= 682,7+			c	= 512
c	b	g+	= 768	f♯	a	d	= 288
c	h	g	= 768			a+	= 858,6+
		g	= 384	f♯	d	a	= 858,6
h	d	d	= 576			d	= 576
		g	= 384	f♯	h	h	= 480
h	d	d	= 576			h	= 960
h	e	e	= 640	g♯	h	d♯	= 606,8
h	e	e	= 640	h	g	d	= 576
		e	= 320			g	= 384
c♯	e	a+	= 429,3+	b	g	d♯+	= 606,8+

Hierbei findet Hällström auffallend, dafs oft der erste Combinationston nicht gehört wird, statt dessen aber der zweite und selbst der dritte, vierte oder fünfte, was auf ihrer eigenthümlichen Höhe und der Empfänglichkeit des Ohrs

für diese, desgleichen auf ihrer Consonanz mit den erzeugenden Tönen beruht. Wenn endlich bei manchen Combinationstönen Bruchtheile von Schwingungen vorkommen, die sich bei jeder Wiederkehr summiren und dadurch eine Ungleichheit erzeugen müssen, so erklärt sich dieses leicht aus den nicht absolut genauen Schwingungszahlen, die irgend einem Tone zugehören, insofern man beim Stimmen bemerkt, wie schwer es hält, einen Ton absolut rein vermittelst des bloßen Gehörs zu erhalten.

53) Es folgt aus dem Vorhergehenden von selbst, dafs man die Stöfse und deren Anzahl in einer Secunde insbesondere auch dazu benutzen könne, um Instrumente vollkommen rein zu stimmen. Ist nämlich das Verhältnifs, welches zwischen den Tönen statt finden soll, gegeben, so folgt hieraus die Zahl der Stöfse, die beide zusammen in 1 Sec. oder nach einem Metronom, welches für jedes Paar Töne eigends gestellt werden kann, geben müssen, und man darf daher den zu stimmenden Ton nur so lange richten, bis die erforderliche Zahl der Stöfse zum Vorschein kommt, wodurch er dann die richtige Stimmung bis auf weniger als 0,01 einer Schwingung innerhalb einer Secunde oder des durch das Metronom gegebenen Zeitintervalles erhalten wird. Da diese Aufgabe theoretisch so einfach ist, so verweile ich nicht länger dabei und verweise wegen der praktischen Anwendung auf die ausführliche Anleitung, die Scheibler darüber mitgetheilt hat [1].

---

1 Es scheint mir nicht unwichtig, hier beiläufig zu bemerken, dafs man jetzt durch den Mechanicus H. Kämmerling zu Crefeld Stimmgabeln erhalten kann, die den Ton $\bar{a}$ mit 880 Vibrationen genau geben, wodurch es also möglich wird, die bisherige Ungleichheit der Orchesterstimmungen zu beseitigen. Uebrigens habe ich mich durch Erfahrungen überzeugt, dafs ein im Stimmen sehr geübter Instrumentmacher nach einer solchen Gabel den Ton eines Forte-Piano völlig unison gestimmt zu haben glaubte, es ergab sich aber dennoch, aller Aufmerksamkeit ungeachtet, noch eine Differenz von einigen Vibrationen. Um daher rein zu stimmen, mufs man nicht die eigentliche Stimmgabel des zu stimmenden Tones, sondern eine solche anwenden, die mit diesem in einer bestimmten Zeit eine bekannte Menge von Stöfsen (4 in 1 Secunde) giebt. Wird dann der Ton so gestimmt, dafs er mit der Hülfsgabel genau die erforderliche Zahl von Stöfsen giebt, so ist er absolut rein, und es kostet nur geringe

54) Bei der Untersuchung der Combinationstöne kommen die ihnen verwandten *Nebentöne* um so mehr in Betrachtung, als es leicht geschehn könnte, dafs beide mit einander verwechselt und letztere für die erstern gehalten würden. Man bezeichnet mit diesem Namen alle diejenigen Töne, die oft neben dem eigentlichen Haupttone zum Ohre gelangen und sich durch die gröfsere Höhe kenntlich machen. Sie zeigen sich so häufig und sind aus wenigen Beispielen so kenntlich, dafs es nur einer kurzen Angabe derselben bedarf, und dieses um so mehr, als schon §. 11. von den *Flageolettönen* und der *Aeolusharfe* gehandelt worden ist, wobei ähnliche Erscheinungen und Gesetze in Betrachtung kommen. Aufserdem ist oben Abschn. C. erläutert worden, auf welche Weise durch erzeugte primäre Schallwellen ähnliche secundäre in andern benachbarten oder verbundenen Körpern erzeugt werden, die den eigenthümlichen Klang des hervorgebrachten Tones bedingen. Endlich ist bei der Untersuchung der longitudinalen Schwingungen elastischer Stäbe §. 17. und Scheiben §. 33. bereits nachgewiesen worden, dafs es aufser den die Erzeugung des Tones ganz eigentlich bedingenden Haupt- oder primären Schwingungen noch andere giebt, die zwar vorläufig blofs als den Hauptton modificirend betrachtet wurden, aber auch leicht als selbst Töne erzeugend vorstellbar sind. Nimmt man alles dieses zusammen, so folgt, dafs neben dem Haupttone leicht Nebentöne entstehn können, sobald entweder die erzeugten Oscillationen andere Körper in Bewegung setzen, die vermöge der obwaltenden Bedingungen zu solchen Schwingungen geneigt sind, deren Zahlen zu denen der Hauptschwingungen in einfachen Verhältnissen, z. B. der Quinte, Octave, Doppelquinte, Doppeloctave u. s. w., stehn, oder wenn die tönenden Körper selbst durch den erhaltenen Impuls aufser den Hauptabtheilungen noch in Unterabtheilungen, die gleichfalls den genannten Tönen zugehören, getheilt und gleichzeitig in vernehmbare Schwingungen versetzt werden. Es ist also blofs noch erforderlich, aus der Erfahrung nachzuweisen, dafs solche Nebentöne bei Schwingungen sowohl fester als auch expansibler Körper wirklich statt finden.

Schwierigkeiten, dieses zu bewerkstelligen. Für das gewöhnliche Stimmen ist diese Genauigkeit unnöthig. Vergl. §. 49. Anm.

Mit Uebergehung derjenigen Töne, die zum gemeiniglich sogenannten Mittönen gehören, wenn geeignete Körper durch den Einfluſs der Schallschwingungen eines Haupttons in Vibrationen versetzt werden, die zu jenen in einfachen Verhältnissen stehn und häufig bis zu derjenigen Stärke wachsen, daſs man sie mit den Augen wahrnimmt und das Ohr die dadurch erzeugten Töne nicht selten deutlich hört, wie sich dieses häufig namentlich beim Forte-Piano zeigt, kann hier hauptsächlich nur von solchen Tönen die Rede seyn, die man weniger erwartet und deren Entstehungsgrund sich minder leicht nachweisen läſst. Hierher gehören vorzüglich die Nebentöne der menschlichen Stimme, von denen bereits Sorge[1] redet, wenn er sagt: „Man höre in einer groſsen Kirche einem Prediger, der eine starke Stimme hat, genau zu, so „wird sich allemal wenigstens die Octave und die Quinte mit „hören lassen.“ Ungleich interessanter und genauer beschrieben sind die Erfahrungen, die Vieth[2] von sich selbst mittheilt, nämlich daſs er in der Stille der Nacht nicht die eigentliche sonore Stimme des Nachtwächters hörte, welcher hierzu in der langen Straſse ihm nicht nahe genug war, wohl aber eine sehr hohe, bald die Quinte, bald die Octavquinte oder die Duodecime von jener, die später ausblieb, wenn der Nachtwächter nahe genug war, um dessen eigentliche Töne deutlich zu vernehmen. Ebendieses Phänomen zeigte sich bei dem schnarrenden Tone des Horns eines andern Nachtwächters, dem ein feiner Flageoletton vorausging. Vieth findet es auffallend, daſs diese hohen Nebentöne in gröſserer Ferne gehört werden, als die tiefern Haupttöne, was allerdings mit der oben §. 40. erwähnten Erfahrung Savart's nicht übereinstimmt, wonach die Wirkung der secundären Schwingungen in der Entfernung verschwindet. Der Grund dieser anscheinend widersprechenden Erscheinungen liegt vermuthlich in der verhältniſsmäſsigen Höhe der Töne, indem die Nebentöne in Savart's Versuchen von gleicher oder geringerer Höhe waren, als die Haupttöne, bei Vieth's Beobachtungen aber von weit gröſserer Höhe, die daher sich leichter auf gröſsere Fernen fortpflanzen, als die beträchtlich tiefern, die allezeit starke Wellen erfordern, wenn sie hörbar seyn

1 Vorgemach der musikalischen Composition. 1740. §. 7.

2 G. XXI. 268.

Digitized by Google

sollen, da es so schwer fällt, solche Töne überhaupt zu erzeugen, die von dünnen Körpern auch bei wirklich vorhandenen langsamen Vibrationen gar nicht wahrnehmbar zu seyn pflegen, wie die einer Glasröhre zeigen, die man nur vermittelst der stärkern Fortleitung durch einen gespannten Faden hört.

Von den Nebentönen, als erzeugt durch eigenthümliche Vibrationen der Saiten, redet Thom. Young[1] im Allgemeinen, und von denen, die einem guten Ohre sehr vernehmbar eine tiefe Bafsstimme zu begleiten pflegen, insbesondere mit Beziehung auf Bemerkungen von Knecht, findet man interessante Untersuchungen in der Leipziger musikalischen Zeitung, begleitet von dem Wunsche, dafs genauere Beobachtungen ihre Entstehung mehr aufklären möchten. Auch von Busse[2] hat sich über sie geäufsert, und Chladni beschreibt diejenigen, die namentlich bei Blaseinstrumenten zum Vorschein kommen, wenn die Art des Anblasens zwischen denen, die zur Hervorbringung des einen und des andern erforderlich sind, ungefähr die Mitte hält. Es können dann bei offenen Pfeifen nur solche Töne beisammen seyn, die mit den geraden Zahlen, und bei gedeckten nur solche, die mit den ungeraden übereinkommen.

Aus dieser Angabe scheint hervorzugehn, dafs die Doppeltöne, wie man die verbundenen Haupt- und Nebentöne nennen könnte, dann erzeugt werden, wenn der schwingende Körper in unmefsbar kleinen Zeitintervallen abwechselnd diejenigen Impulse erhält, die sowohl dem einen als auch dem andern beider Töne zugehören, und daher die Schwingungen beider ohne merkliche Unterbrechung fortdauern. Hiermit stimmt überein, was Vieth[3] sagt, nämlich dafs ihm früher, als er das Waldhorn erlernte, die Doppeltöne zum Verdrufs sehr gut gelangen, dafs er sie aber später nicht mehr hervorbringen konnte. Geübte Künstler auf diesem Instrumente, die ich darum gefragt habe, gaben mir zur Antwort, dafs es sehr schwer sey, Doppeltöne auf demselben hervorzubringen, und höchstens gelange man durch viele Mühe dahin, neben dem

1 Phil. Trans. 1800. Lectures T. II. p. 548. 550.
2 Beiträge zur Mathematik und Physik. St. X. S. 131.
3 G. XXI. 270.

d by Google

Haupttone noch die Quinte oder die Octave schwach hörbar zu machen. Die Trompete des Automaten, welchen der bekannte Kaufmann aus Dresden um 1818 hören liefs, gab ganz entschieden und für jeden unverkennbar gleichzeitig zwei Töne, allein dieses geschah dadurch, dafs zwei ungleiche Mundstücke in die nämliche Trompete mündeten. Auch Mälzel's Automat-Trompeter gab gleichzeitig zwei Töne mit der nämlichen Trompete an, und Chladni[1] erkannte die Art, wie dieses geschah, aus dem Mechanismus, welchen der Erfinder ihm zeigte. Hierdurch ist also erwiesen, dafs in einem und demselben Instrumente zwei auf verschiedene Weise schwingende Luftsäulen neben einander bestehn können, ohne sich wechselseitig zu stören. Theoretische Untersuchungen über die Nebentöne, deren Vorhandenseyn man schon in ältern Zeiten nicht bezweifelte, haben bereits Cartesius[2], Mersenne[3], Dan. Bernoulli[4], Math. Young[5], Giordano Riccati[6] und andere angestellt, Biot und Hamel aber haben sie bei ihren später zu erwähnenden Versuchen über die möglichen Abtheilungen einer schwingenden Luftsäule so deutlich wahrgenommen[7], dafs ihre wirkliche Existenz keinem Zweifel unterliegt.

55) Nach den vorhergehenden Untersuchungen entsteht also die Empfindung des Schalles durch die Wahrnehmung der in gleichen Zeitintervallen regelmäfsig wiederkehrenden Vibrationen, die die Gehörnerven treffen, und die Unterscheidung der verschiedenen Töne beruht auf der Wahrnehmung der ungleichen Mengen dieser das Ohr in gleichen Zeiträumen treffenden Schwingungen, wonach dieses ganze Problem auf eine Operation mit Zahlengröfsen hinauskommt, wie schon Leibnitz[8] als höchst auffallend bemerkte. Die Höhe und Tiefe eines einzelnen isolirten Tones ist für sich nicht wahrnehmbar, die Anzahl der ihm zugehörigen Schwingungen ist daher

1 Neue Beiträge zur Akustik. Leipz. 1817. 4. S. 65.
2 Epist. P. II. ep. 75. 106.
3 Harmonie universelle. Par. 1636.
4 Comm. Pet. T. XV. u. T. XIX.
5 Enquiry into the principal phaenomena of Sounds, P. II.
6 Delle corde ovvero fibre elastiche. Sched. IV.
7 Biot Traité. II. 131.
8 Epist. ad diversos. T. I. ep. 154.

willkürlich; blofs sehr geübte oder mit aufserordentlicher musikalischer Feinheit begabte Ohren vermögen diese zu unterscheiden, wie unter andern von Mozart erzählt wird; jedoch ist die Grenze, bis zu welchem Unterschiede in der Zahl der Vibrationen dieses reicht, noch nicht bestimmt. Ungleich leichter dagegen ist es, die Unterschiede der einzelnen Töne und ihre Verhältnisse wahrzunehmen, aber auch hierbei findet eine grofse Ungleichheit statt rücksichtlich der gröfseren oder geringern Feinheit verschiedener Ohren, die durch Uebung bedeutend erhöht werden kann.

Für die verschiedenen Töne ist blofs ein einziges feststehendes Verhältnifs gegeben, nämlich das der Octave, welcher allezeit die doppelte Zahl der Schwingungen zugehören. Wie viele Töne zwischen diese beiden gelegt werden, darüber ist aus der Natur der Sache keine feste Regel zu entnehmen. Wäre das Ohr im Stande, den Unterschied zu empfinden, welchen eine einzige Schwingung erzeugt, und dürften die durch Chladni angenommenen Vibrationsmengen als genau gelten, so könnten zwischen dem tiefsten Tone von 32 Schwingungen und seiner Octave nur 31 Töne eingeschoben werden, deren Zahl dann bei jeder folgenden Octave verdoppelt würde. Diese Betrachtungen, die zur Bildung eines neuen Tonsystems führen würden und durch die Mängel, die manche bei dem bestehenden zu finden glauben, entschuldigt werden könnten, scheinen mir jedoch ganz überflüssig zu seyn, da bisher noch kein besseres, aus der Natur der Sache theoretisch abgeleitetes, aufgestellt worden ist und mit der Einführung desselben alle vorhandene Compositionen untergehn würden, ein Verlust, der schwerlich durch einen gleichen Gewinn compensirt werden könnte. Das bestehende ist insbesondere auf die vortheilhafte Bedingung gegründet, dafs es einige sehr einfache und andere minder einfache und leicht verständliche mit einander verbindet. Ob es noch andere Tonsysteme giebt, kann ich für jetzt nicht auffinden; nach einer allgemeinen Angabe existirt ein solches bei den Indiern, deren *Grama* oder Tonleiter die Octave in 25 Töne theilen soll[1].

---

1 Asiatic Researches T. IX. N. 9. Vergl. Forkel, Allgemeine Geschichte der Musik. Leipz. 2 Bde. 8. Vorschläge zu andern Abtheilungen sind verschiedene gemacht worden, z. B. Sabbatini in Kircher

56) Jeder Ton heifst in Beziehung auf sein Verhältnifs zu irgend einem andern Tone der *Grundton* und das Verhältnifs zwischen zwei Tönen ein *Intervall*; letzteres ist wieder ein *consonirendes*, wenn es in einfachen ganzen Zahlen ausgedrückt werden kann, im entgegengesetzten Falle ein *dissonirendes*. Die Vereinigung mehrerer Töne heifst ein *Accord*, welcher gleichfalls consonirend ist, wenn blofs solche Intervalle darin vorkommen, oder dissonirend; der einfachste Accord ist der *harmonische* Dreiklang, welcher aus dem Grundtone (der *Tonica*), der Tertie und Quinte besteht, wozu man meistens noch die Octave nimmt. Nach dem üblichen Tonsysteme enthält nämlich jede Octave, die man mit C anzufangen gewohnt ist, zwischen dem Grundtone und dessen Octave noch 11 Töne, von denen die 6 zu den untern Tasten gehörigen mit Unrecht ganze und die zwischenliegenden der obern Tasten halbe genannt werden. Das Fortschreiten von einem Tone zu den folgenden einer oder nach einander mehrerer Octaven nennt man *Tonleiter*, und wenn darin blofs jene 6 ersten vorkommen, eine *diatonische*, wobei das Fortschreiten in einer solchen auch *diatonische Fortschreitung* genannt wird. Auf gleiche Weise giebt es eine *chromatische Fortschreitung*, wenn sie von den untern zu den obern oder umgekehrt durch die nebeneinander liegenden Töne statt findet, und eine *enharmonische*, wenn sie zwischen einem durch Erhöhung entstandenen und dem nächsten durch Erniedrigung gegebenen, also von cis zu des, statt findet; beide werden auch Tonleitern genannt.

Die älteste Bezeichnung der Töne ist die italienische durch Guido von Arezzo aus dem 11. Jahrhunderte, erstreckt sich blofs auf die 6 ersten Töne der diatonischen Tonleiter und heifst *ut*, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, weil sie aus den Anfangs-

---

Musurgia T. I. schlug 36 Töne vor, Huygens 31, Herpling in Miscell. Berol. T. X. p. 150. empfiehlt 50, Berlin in seiner 1767 erschienenen Tonometrie 36, andere 55, Sauveur in Mém. de l'Acad. 1701 bringt sehr zusammengesetzte Abtheilungen in Vorschlag u. s. w. Die grofse Allgemeinheit und das seit so langer Zeit behauptete Ansehn des bestehenden Tonsystems entscheidet sehr für dessen Güte und Naturgemäfsheit. Eine Uebersicht der einfachsten Harmonie durch Octave, Quinte und Tertie giebt L. Euler in Nov. Comm. Pet. XVIII. 333.

Digitized by Google

sylben der halben Verse an Johannes den Täufer entnommen ist, nämlich

ut queant laxis *re*sonare fibris
*mi*ra gestorum *fa*muli tuorum,
*sol*ve polluti *la*bii reatum
Sancte Johannes.

Diese Benennung ist auch zu den Franzosen übergegangen, und in beiden Ländern kommt dann noch der siebente Ton, *si* genannt, hinzu. Eine Erhöhung zum nächsten Tone wird dann durch *dièse*, eine Erniedrigung durch *bémol* bezeichnet, woraus die Zeitwörter *dièser* und *bémoliser* entstanden sind. Die Bezeichnung geschieht durch das anderweitig übliche Kreuz und ein beigesetztes b, also z. B. ut♯ und mi♭, welches heifsen würde *ut dièse* und *mi bémol;* die verschiedenen Octaven aber werden, von der ursprünglichen ausgehend, durch unten beigesetzte Zahlen, und zwar positive beim Fortschreiten zu gröfserer Höhe, negative aber beim Rückgange zu tieferen, bezeichnet, wonach es also z. B. ein ut_1, ut_2, ut_3, ... und ein ut_{-1}, ut_{-2}, ut_{-3}, ... giebt. Bei den Deutschen, Holländern, Engländern und den meisten übrigen Völkern bezeichnet man die Töne durch Buchstaben und die Erhöhungen deutsch durch ein angehängtes *is*, die Vertiefungen durch ein angehängtes *es*, bei den Engländern geschieht ersteres durch *sharp*, letzteres durch *flat*, bei den Holländern durch *kruis* und *mol*; alle gebrauchen aber gemeinschaftlich das Kreuz (♯) und das b, beide rechts schräg über dem Buchstaben oder links oberhalb vor der Note, und beide werden durch ein sogenanntes *Bequadrat* (♮) wieder aufgehoben. Endlich erhalten die verschiedenen Octaven ihre Bezeichnung durch die Gröfse der Buchstaben und durch die Zahl der Querstriche, die unter oder über die Buchstaben gesetzt werden. Jede Note kann durch ein Kreuz zum nächstfolgenden Tone erhöht und durch ein b vertieft werden, auch erhöht ein Doppelkreuz (♯♯) zum nächst-nächstfolgenden, so wie ein Doppel-b (bb) auf gleiche Weise tiefer macht, welche beide durch ein Doppel-Bequadrat (♮♮) wieder aufgehoben werden.

Auf welche Weise in Gemäfsheit des leichten Auffassens der Verhältnisse, in denen die gebräuchlichen Töne zu einander stehn, die bestehende Abtheilung derselben entstehn

Digitized by Google

konnte und auf welche Weise sich zugleich ein Grund zur Bezeichnung durch ganze und halbe Töne erkennen läfst, hat H. W. Brandes[1] auf eine sehr einfache und lichtvolle Weise gezeigt. Das am leichtesten wahrnehmbare Verhältnifs ist das von 1 zu 2, welches die Octave giebt, allein eben dieses ist zu einfach, giebt nicht genug Aufregung, und die Octave dient daher nur hauptsächlich zur Unterstützung des Haupttones (des Grundtones) dann, wenn wir sonstige Töne mit demselben verbinden. Ein sehr leichtes und zugleich angenehmes Verhältnifs dagegen giebt das von 2 zu 3 oder die Quinte, wonach wir also zum Grundtone noch die Quinte erhalten, und da man der leichteren Uebersicht wegen zu ersterem c zu wählen pflegt, so gäbe dieses also c und g. Zwischen beiden liegt ein Verhältnifs in der Mitte, nämlich e mit 5 Schwingungen, wenn c deren 4 und g deren 6 hat, wir erhalten also durch 4,5 und 6 die Töne c, e, g oder den *harmonischen Dreiklang*, welcher mit der Octave verbunden den leichtesten, reinsten und angenehmsten Accord giebt[2]. Wir erhalten also

c,	e,	g,	c̄.
1	$\frac{4}{4}$	$\frac{4}{2}$	2

Sucht man heruntergehend ein gleich einfaches, aber in Folge des Heruntergehens ein umgekehrtes Verhältnifs als das erste

---

1 Vorlesungen über die Naturlehre. Th. I. S. 298. Es scheint mir an der sehr gelungenen Darstellung nur das Einzige auszusetzen zu seyn, dafs Brandes die über die Octave hinausgehenden Verhältnisse zu Hülfe nimmt, die jedoch auf das Ohr bei weitem keinen so leicht verständlichen und angenehmen Eindruck hervorbringen. Ich habe dieses daher möglichst vermieden.

2 Wie angenehm der reine harmonische Dreiklang dem Ohre sey, davon habe ich mich bei sehr vielen Personen, auch solchen, die gar nicht musikalisch waren, vollkommen überzeugt. Man erhält denselben aber nur vermittelst mathematisch reiner Scheibler'scher Stimmgabeln. Auch hierbei gelangt man zu der Ueberzeugung, wie wenig das Ohr die absolute Reinheit der Töne zu unterscheiden vermag. Wendet man nämlich Stimmgabeln an, die nach dem blofsen Gehöre rein gestimmt sind, so zeigen die bei ihrem Zusammentönen entstehenden Stöfse augenfällig ihre Unreinheit, der harmonische Dreiklang derselben ist dann aber weit weniger angenehm, als der von mathematisch reinen, wie sich bei der Vergleichung beider sehr bald zeigt. Auf dieser von selbst bedingten Reinheit der Töne beruht auch zum Theil die Annehmlichkeit der Töne bei der Aeolsharfe.

zwischen c und g = 1 und $\frac{3}{4}$, so ergiebt sich zu $\bar{c}$ als Einheit f = $\frac{2}{3}$, welches zugleich zum Grundtone sehr einfach ist. Somit kommt

c,	e,	f,	g,	$\bar{c}$.
1	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	2

Zunächst erhält g gleichfalls seinen vollständigen Dur-Accord, seinen harmonischen Dreiklang in der Tertie h und der Quinte $\bar{d}$, die vertieft zu d wird, und man erhält also

c,	d,	e,	f,	g,	h,	$\bar{c}$.
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{15}{8}$	2

Zwischen g und h ist das nämliche Verhältnifs, als zwischen c und e, nämlich $\frac{5}{4} : \frac{15}{8} = 1 : \frac{3}{2}$, und zur Vervollständigung der Dur-Tonleiter mufs also a eingeschaltet werden, welches giebt

c,	d,	e,	f,	g,	a,	h,	$\bar{c}$
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

Vergleichen wir diese Intervalle unter einander, so zeigt die folgende Zusammenstellung

c	d	e	f	g	a	h	$\bar{c}$
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
	$1 : \frac{10}{9}$						
		$1 : \frac{16}{15}$					
	$1 : \frac{9}{8}$						
		$1 : \frac{10}{9}$					
			$1 : \frac{9}{8}$				
				$1 : \frac{16}{15}$			

dafs von c zu d = $1 : \frac{9}{8}$, von d : e = $1 : \frac{10}{9}$ beinahe gleich ist, wogegen von e : f = $1 : \frac{16}{15}$ nur etwas mehr als die Hälfte der vorigen beträgt. Ebenso sind von f zu g = $1 : \frac{9}{8}$, von g zu a = $1 : \frac{10}{9}$, von a zu h = $1 : \frac{9}{8}$ wieder beinahe gleich, von h zu $\bar{c}$ aber = $1 : \frac{16}{15}$ nur etwas mehr als halb so grofs, weswegen die grofsen Fortschreitungen Intervalle eines ganzen Tones, die kleinern aber eines grofsen halben Tones genannt werden.

Diese Tonleiter ist zwar für c vollständig, allein sie mufs auch eine gleiche Vollständigkeit für jeden andern in ihr enthaltenen Ton haben, sobald man diesen als Grundton betrachtet. Wird hierzu g gewählt und die Tonleiter zuerst hierfür fortgesetzt, so wird aus der für c

Digitized by Google

c,	d,	e,	f,	g,	a,	h,	$\overline{c}$,	$\overline{d}$,	$\overline{e}$,	$\overline{f}$,	$\overline{g}$
1	$\frac{8}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{8}{15}$	2	$\frac{8}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	3

die für g als Grundton gebildete

g,	a,	h,	c,	d,	e,	f,	$\overline{g}$
1	$\frac{10}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{16}{27}$	2

Hierin ist zuerst der harmonische Dreiklang genau so, wie im c-dur Accorde, alle Töne haben ein ähnliches Verhältniſs (mit der geringfügigen Ausnahme von g zu a, die aber verschwindet, weil sie zwischen dem harmonischen Dreiklangs-Verhältnisse liegt), aber vor dem Uebergange zur Octave, also zu $\overline{g}$, sollte als wesentlich nur ein groſser halber Ton vorhergehn, auf e aber ein ganzer Ton folgen; es muſs also f übersprungen und statt dessen fis seingeschaltet werden. Diesemnach erhält man

g,	a,	h,	c,	d,	e,	fis,	$\overline{g}$
1	$\frac{10}{9}$	$\frac{5}{6}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{15}{27}$	2

eine mit der für c *dur* bis auf eine unmerkliche Verschiedenheit übereinstimmende Tonleiter. Würden diese Betrachtungen weiter fortgesetzt, so lieſse sich dadurch zeigen, wie die übrigen, eben deshalb halbe Töne genannt, eingeschaltet werden muſsten. Um dieses schnell zu übersehn, darf man nur die Verhältnisse berücksichtigen, aus denen die für c und g gegebenen Tonleitern in *dur* bestehn, wie diese hauptsächlich in dem obigen Schema für c *dur* gegeben sind, welches die Verhältnisse der einzelnen Töne zu einander ausdrückt. Die Tonleiter enthält nämlich nach der Tonica zuerst zwei ganze Töne (d und e), dann einen groſsen halben Ton (f), dann drei ganze Töne (g, a und h) und von diesem zuletzt wieder einen Uebergang zur Octave durch einen groſsen halben Ton. Nehmen wir also f als Tonica, so hat dieses in g und a zwei ganze Töne; dann soll aber ein groſser halber Ton folgen, welcher durch h nicht gegeben wird, weswegen zwischen a und h ein solcher durch b eingeschaltet werden muſs. Die Tonart f *dur* hat daher nur ein b als Vorzeichnung. Die Fortschreitung von c *dur* zum Accorde von seiner Quinte g erforderte für letzteren ein Kreuz; wird also von g abermals zur Quinte bis $\overline{d}$ fortgeschritten und hierfür d substituirt, so müssen in d *dur* alle Töne von g *dur* liegen, auſser daſs der vor $\overline{d}$ vorhergehende Ton ein groſser halber Ton

Digitized by Google

seyn muſs, was also cis erfordert, und d *dur* erhält sonach zwei Kreuze cis und fis. Auf gleiche Weise gelangt man von d zur Quinte a, und eine gleiche Betrachtung zeigt, daſs sonach a *dur* drei Kreuze, cis, fis und gis, haben müsse; die Quinte von a ist e, und e *dur* erhält demnach vier Kreuze, wie aus gleichem Grunde h *dur* deren fünf und, ungeachtet es nicht mehr sogenannte halbe Töne unter den Tasten giebt, doch fis *dur* deren sechs und cis *dur* deren sieben erhalten muſs.

Rücksichtlich der *Dur*-Tonleitern, in denen die Vorzeichnung durch ein oder mehrere b geschieht, findet ein auf dem Verhältnisse der Töne beruhendes gleiches Gesetz statt, und da die Kenntnisse dieses und des vorhergehenden das Behalten der Vorzeichnungen erleichtert, so pflegen diese Elemente des *Generalbasses* von guten Musiklehrern gleich anfangs den Schülern bekannt gemacht zu werden. Es ist so eben gezeigt worden, daſs, um eine mit c *dur* gleiche Tonfolge zu erhalten, für f *dur* ein b vorgezeichnet werden muſs. Der Ton f ist aber die Unterquinte von $\bar{c}$, und nimmt man also abermals die Unterquinte von f, so gelangt man zu B, welches demnach zwei b vorgezeichnet erhalten muſs. Zu ebendiesem Resultate gelangt man durch die Betrachtung der Tonfolge gleichfalls. Es folgen nämlich auf die Tonica B zwei ganze Töne, c und d, dann muſs ein groſser halber Ton folgen, weswegen nicht e, sondern durch Vertiefung mittelst eines b der groſse halbe Ton es (e^b nicht $d\sharp$) erfordert wird, auf welchen richtig die ganzen Töne f, g und a folgen, letzterer als groſser halber Ton von der Octave b. Die Unterquinte von b giebt es, und sonach muſs es *dur* drei b zu Vorzeichen haben, wie auch aus der Betrachtung der Tonfolge hervorgeht. Auf die Tonica es folgen nämlich f und g, und um dann den groſsen halben Ton zu erhalten, kann nicht der ganze Ton a folgen, sondern dieser muſs um einen halben vertieft werden, also aës oder as (a^b) seyn, woraus zugleich ersichtlich wird, weswegen der nämliche Zwischenton zwischen g und a bei a *dur* durch gis, bei es *dur* aber durch as bezeichnet wird. Auf as folgen die ganzen Töne b, c und d, letzterer als groſser halber Ton vor der Octave. An diesem Beispiele läſst sich aufserdem der Unterschied der verschieden bezeichneten sogenannten halben Töne, der durch ein Kreuz erhöheten und der durch ein b erniedrigten, zeigen. Bei a *dur* nämlich

Digitized by Google

wird nach fis ein ganzer Ton erfordert, g mufs daher zu gis ($g^{\times}$) erhöht werden; bei es *dur* aber soll a zu einem grofsen halben Tone as (a^{b}) erniedrigt werden, und es ist also ein Unterschied zwischen gis und as. Nach der oben angegebenen Bezeichnung durch Zahlen sollte gis für a *dur* durch $\frac{14}{15} \times \frac{5}{4}$ und as durch $\frac{15}{16} \times \frac{3}{2}$ ausgedrückt werden, welches auf gleiche Nenner gebracht für gis $\frac{125}{80}$ und für as $\frac{120}{80}$ Schwingungen gäbe. Rücksichtlich der *Dur*-Tonarten mit Vorzeichnungen von b läfst sich nach dem Vorhergehenden leicht finden, dafs f *dur* ein b, b *dur* zwei, es *dur* drei, as *dur* vier, des *dur* fünf, ges *dur* sechs und ces *dur* sieben b zur Vorzeichnung hat.

Die *Moll*-Tonarten lassen sich auf gleiche Weise übersichtlich darstellen. Die Eigenthümlichkeit der *Dur*-Tonarten zeigt sich in demjenigen Verhältnisse, welches bei ihnen den harmonischen Dreiklang bildet, wonach das der Tonica zu der grofsen Tertie und der Quinte durch die Zahlen 4:5:6 ausgedrückt werden kann, und vielleicht giebt der rasche Fortgang vom Grundtone durch zwei ganze Töne derselben ihre Eigenthümlichkeit. Das Intervall von der Tonica zur Quinte besteht aus zwei Tertien, wovon die erste die grofse, die zweite die kleine ist, wie das Verhältnifs 4:5 und 5:6 ausdrückt. Werden beide Verhältnisse gleich gemacht, wird dadurch das raschere Fortschreiten angehalten, so wird die Tonart etwas schwerfälliger; sie wird weicher, zur Moll-Tonart, wobei die Intervalle $4 : \frac{24}{5}$ und $\frac{24}{5} : 6$ sind. Bei aufsteigender Tonfolge ist hierdurch allein der Unterschied der weichen Tonart von der harten gegeben, denn aufser dieser kleinen Tertie ist von c aus die Tonfolge für *dur* und für *moll* gleich, beim Herabsteigen aber ist der Uebergang von der Tonica zu zwei ganzen und dann einem grofsen halben Tone erforderlich. Für c *moll* hat man daher aufsteigend c, d, es, f, g, a, h, $\bar{c}$, herabsteigend dagegen $\bar{c}$, b, as, g, f, es, d, c. Die letztere Reihenfolge, die durch die kleine Tertie statt der grofsen in *Dur* bedingt ist, mufs sich also ohne Vorzeichnung in der gewöhnlichen Tonreihe befinden, sobald man um eine kleine Tertie herabgeht, also von c zu A; denn hierbei hat man von der Tonica A einen ganzen Ton in H, dann einen grofsen halben Ton in c, demnächst lauter ganze Töne in d und e, von diesem einen übermäfsigen in fis und endlich einen

ganzen in gis, von welchem der Uebergang zur Octave a erfolgt, statt dafs beim Herabsteigen die Tonleiter von a durch g, f, e, d, c, H zu A ohne eine Vorzeichnung fortgeht. Sind dann die Schwingungsmengen von C ausgehend

C, D, E, F, G, A, H, c, d, e, f, g, a
1 $\frac{9}{8}$ $\frac{5}{4}$ $\frac{4}{3}$ $\frac{3}{2}$ $\frac{5}{3}$ $\frac{15}{8}$ 2 $\frac{9}{4}$ $\frac{5}{2}$ $\frac{8}{3}$ 3 $\frac{16}{5}$

so werden sie für die Octave von A ausgehend

A, H, c, d, e, f, g, a
1 $\frac{9}{8}$ $\frac{6}{5}$ $\frac{27}{20}$ $\frac{3}{2}$ $\frac{8}{5}$ $\frac{9}{5}$ 2

worin $\frac{27}{20}$ nur wenig von $\frac{4}{3}$ verschieden ist. Hat also die harte Tonleiter von c aus die nämliche Tonfolge, als die weiche von a anfangend, so ergiebt sich aus dem Vorhergehenden, dafs man die Vorzeichnungen für die *Moll*-Tonleitern augenblicklich finden kann, sobald die der *Dur*-Tonleiter für die kleinere Tertie des nämlichen Tones bekannt ist, da beide einander gleich sind. Es haben sonach c *moll* und es *dur*, d *moll* und f *dur* u. s. w. gleiche Vorzeichnungen. Es ergiebt sich ferner von selbst, dafs man die Vorzeichnungen der *Moll*-Tonarten finden könne, wenn man auf gleiche Weise, als oben für die *Dur*-Tonarten gezeigt worden ist, statt bei letztern von c auszugehn, bei ersteren von a aus zu den Quinten aufsteigend und absteigend übergeht. Die Quinte von A ist e, also hat e *moll* ein Kreuz, die Unterquinte von A ist D und D *moll* hat also ein b, welche Vorzeichnung die herabgehende Tonfolge bezeichnet.

Die 12 Töne irgend einer Octave sind also aufsteigend dem Namen und ihrer Bezeichnung nach folgende:

c cis d dis e f fis g gis a ais h
c, c♯, d, d♯, e, f, f♯, g, g♯, a, a♯, h,

herabsteigend dagegen:

c h b a as g ges f e es d des
c, h, b, a, a^{b}, g g^{b}, f, e, e^{b}, d, d^{b}.

Insofern aber jeder Ton durch ein Kreuz zum nächsten Tone erhöht, durch ein b aber vertieft werden kann, kommen zu der obern Reihe noch e♯ (eis), h♯ (his) und zu der untern c^{b} (ces), f^{b} (fes) hinzu. Ein mehrmals, z. B. durch Schwanenberg[1],

1 Ueber Unnütz- und Unschicklichkeit des H im musikal. Alphabete. Wien u. Leipz. 1797. 8.

Digitized by Google

Leop. Mozart[1], J. J. Klein[2] und Chladni[3] gerügter Fehler dieser übrigens sehr zweckmäfsigen Bezeichnung ist die durch h und b, indem vielmehr h durch b und dann b♯ durch bis, b♭ durch bes bezeichnet werden müfste, wie L. Mozart auch gethan hat. Die Bezeichnung der Octaven nach ihrer Höhe fängt jederzeit mit c an und wird dann bei den übrigen Tönen beibehalten, so dafs also das g oder h u. s. w., welches zwischen dem grofsen und kleinen c liegt, das grofse g oder grofse h genannt und auf gleiche Weise bezeichnet wird. Den Anfang macht hiernach das tiefste C, welches durch D, E u. s. w. bis Contra — C geht, dann folgt das grofse C, das tiefste des Forte-Piano und des Violoncells, dann das kleine oder gewöhnlicher ungestrichene c, und so geht es zum eingestrichenen c, zum zweigestrichenen c, zum dreigestrichenen c u. s. w. fort, indem die Töne vom grofsen C bis zum dreigestrichenen c die vier Octaven der älteren Claviere umfassen.

Da jeder Ton als Grundton betrachtet werden kann, sobald in Beziehung auf die Harmonie von den Verhältnissen der übrigen Töne zu ihm die Rede ist, so kann man die Intervalle von jedem beliebigen Tone ausgehend bestimmen; meistens wählt man dazu aber das c. Insofern aber die Intervalle nach der Menge der Schwingungen in einer gegebenen Zeit bestimmt werden, zugleich aber bereits oben §. 13. gezeigt worden ist, dafs die Schwingungszahlen sich umgekehrt wie die Saitenlängen verhalten, wovon nach §. 39. sehr leicht eine Anwendung auf die Längen der schwingenden Luftsäulen gemacht werden kann, so giebt folgende Tabelle die sämmtlichen einer Octave zugehörenden, also innerhalb der Gröfse 1 bis 2 liegenden Intervalle nach ihrem geometrischen oder Zahlenverhältnisse der Schwingungen an.

---

1 Violinschule.
2 Musikal. Zeitung 1799. N. 41.
3 Akustik S. 21.

Digitized by Google

Töne.	Schwingungen.		Saitenlängen.	
c : c Einklang	1	1,00000	1	1,00000
c : cis übermäfsige Prime	$\frac{25}{24}$	1,04167	$\frac{24}{25}$	0,96000
c : des kleine Secunde	$\frac{16}{15}$	1,06667	$\frac{15}{16}$	0,93750
c : d grofse Secunde	$\frac{10}{9}$	1,12500	$\frac{9}{10}$	0,90000
c : dis übermäfsige Secunde	$\frac{125}{108}$	1,15741	$\frac{108}{125}$	0,86400
c : es kleine Tertie	$\frac{6}{5}$	1,20000	$\frac{5}{6}$	0,83334
c : e grofse Tertie	$\frac{5}{4}$	1,25000	$\frac{4}{5}$	0,80000
c : fes verminderte Quarte	$\frac{32}{25}$	1,28000	$\frac{25}{32}$	0,78125
c : f grofse Quarte	$\frac{4}{3}$	1,33334	$\frac{3}{4}$	0,75000
c : fis übermäfsige Quarte	$\frac{25}{18}$	1,38889	$\frac{18}{25}$	0,72000
c : ges verminderte Quinte	$\frac{36}{25}$	1,44000	$\frac{25}{36}$	0,69445
c : g grofse Quinte	$\frac{3}{2}$	1,50000	$\frac{2}{3}$	0,66667
c : gis übermäfsige Quinte	$\frac{25}{16}$	1,56250	$\frac{16}{25}$	0,64000
c : as kleine Sexte	$\frac{8}{5}$	1,60000	$\frac{5}{8}$	0,62500
c : a grofse Sexte	$\frac{5}{3}$	1,66667	$\frac{3}{5}$	0,60000
c : ais übermäfsige Sexte	$\frac{125}{72}$	1,73612	$\frac{72}{125}$	0,57600
c : b kleine Septime	$\frac{16}{9}$	1,77778	$\frac{9}{16}$	0,56250
c : h grofse Septime	$\frac{15}{8}$	1,87500	$\frac{8}{15}$	0,53334
c : ces verminderte Octave	$\frac{48}{25}$	1,92000	$\frac{25}{48}$	0,52083
c : $\bar{c}$ vollkommene Octave	2	2,00000	2	0,50000

Die hier angegebene Bestimmung der Intervalle ist die gewöhnliche und kann bei akustischen Untersuchungen unbedenklich als richtig angenommen werden; inzwischen ist man keineswegs über ihre absolute Genauigkeit überall einverstanden. So giebt Chladni für die übermäfsige Secunde auch $\frac{75}{64}$, für die grofse Secunde $\frac{9}{8}$, für die kleine Septime $\frac{9}{5}$ an, nach Hällström[1] ist das Verhältnifs der grofsen Sexte statt $\frac{5}{3}$ auch wohl $\frac{512}{311}$ oder $\frac{27}{16}$ oder $\frac{2790}{1681}$ oder $\frac{1009}{608}$. Solche Unterschiede sind jedoch zu gering, als dafs das bloſse Ohr sie ohne weitere Mittel wahrnehmen könnte. Insofern aufserdem ein jeder Ton als Tonica angesehn werden kann, so müfste zwischen ihm und seiner Octave eine gleiche Reihenfolge von Intervallen liegen, als hier für c angenommen worden ist, welches voraussetzen würde, dafs alle folgende Töne zu jedem vorhergehenden in einem gleichen Verhältnisse ständen, als so eben für die Reihenfolge der Octave von c an gerechnet nach-

1 Poggendorff's Ann. XXIV. 442.

Digitized by Google

gewiesen worden ist, was auf den ersten Blick als unstatthaft erscheint und aufserdem mit den verschiedenen Verhältnissen, die so eben für cis und des, dis und es, e und fes u. s. w. angegeben worden sind, im Widerspruche steht. Diesemnach ist das Verhältnifs c : cis = 24 : 25 etwas zu klein, das andere c:des = 15 : 16 etwas zu grofs, und da man nicht füglich alle diese verschiedenen Verhältnisse durch wirkliche Töne ausdrücken kann, so mufs man zwischen beiden ein mittleres nehmen, worin beider Ungleichheiten möglichst nahe ausgeglichen sind. Hiernach erhält man folgende 12 Töne der Octave von c ausgehend:

c, cis, d, dis, e, f, fis, g, gis, a, b, h, c.
des, es, fes, eis, ges, as, ais, ces, his.

Die Abweichung der Intervalle von ihrer geometrischen Richtigkeit nennt man *Temperatur*, die Abweichung jedes einzelnen Intervalles eine *Schwebung*, und wenn die Unrichtigkeiten ganz gleichförmig vertheilt werden, eine *gleichschwebende Temperatur*, wenn die Vertheilung aber ungleichförmig geschieht, eine *ungleichschwebende Temperatur*. Die geringen Abweichungen werden vom Ohre nicht wahrgenommen, man glaubt vielmehr die reinen Intervalle zu hören, und wählt daher am vortheilhaftesten die gleichschwebende Temperatur, da man in der heutigen Musik von allen möglichen Tonarten gleichmäfsig Gebrauch macht. Unter den ungleichschwebenden Temperaturen hat die *Kirnberger'sche* am meisten Aufsehn erregt, Chladni verwirft indefs auch diese, nebst allen andern, von denen er sagt, dafs jeder Erfinder die seinige für die beste hält. Die folgende Tabelle enthält die Verhältnifszahlen der Saitenlängen und Schwingungszahlen für die gleichschwebende und die Kirnberger'sche Temperatur für die 12 Töne einer Octave und zugleich die absoluten Vibrationsmengen der eingestrichenen Octave, weil darin der normale Ton des Stimmens, nämlich $\bar{a}$ vorkommt, wofür die oben §. 50. gefundene, der Stimmung der meisten Orchester genau oder in sehr genähertem Werthe zukommende, absolute Menge von Schwingungen, nämlich 880 in 1 Secunde, angenommen worden ist, eine Bestimmung, die ich um so lieber wähle, weil diese Zahlengröfse sich noch obendrein leicht behalten und zugleich bequem durch zwei theilen läfst, so dafs man sie leicht auf andere Octaven übertragen kann. Aufserdem haben die neue-

sten Wiener Forte-Piano's, namentlich von Streicher und Stein, eine nur unmerklich höhere Stimmung; da diese aber bei den älteren, sowie auch bei den französischen und englischen, etwas tiefer ist, so scheint es mir am räthlichsten, namentlich des Gesanges wegen, die Stimmung nicht höher zu treiben, sondern bei ā mit 880 Schwingungen in der Secunde stehn zu bleiben.

	Gleichschwebende Temperatur.			Kirnberger'sche Temperatur.		
	Saitenlängen	Schwingungsmengen relative	Schwingungsmengen absolute	Saitenlängen	Schwingungsmengen relative	Schwingungsmengen absolute
c̄	1,00000	1,00000	523,25	1,00000	1,00000	523,25
cis	0,94387	1,05946	554,39	0,94922	1,05349	551,24
d	0,89090	1,12246	587,33	0,88889	1,12500	588,66
dis	0,84090	1,18921	622,26	0,84375	1,18518	620,11
e	0,79370	1,25992	659,26	0,80000	1,25000	654,07
f	0,74915	1,33484	698,46	0,75000	1,33334	697,69
fis	0,70710	1,41421	739,99	0,71112	1,40625	735,82
g	0,66742	1,49831	783,99	0,66667	1,50000	784,88
gis	0,62996	1,58740	830,62	0,63281	1,58024	826,86
a	0,59461	1,68179	880,00	0,59629	1,67702	880,00
b	0,56123	1,78180	932,34	0,56250	1,77778	930,22
h	0,52973	1,88775	987,77	0,53334	1,87500	981,10
c̿	0,50000	2,00000	1046,51	0,50000	2,00000	1046,51

Das bisher Gesagte genügt, um bei physikalisch-akustischen Untersuchungen hinlängliche Auskunft zu geben. Sollen die Intervalle rein, nicht falsch oder unrein seyn, was man bei den Sängern auch *Detoniren* nennt, so müssen streng genommen die einzelnen Töne die oben angegebenen geometrischen Verhältnisse zu einander haben. Die menschliche Stimme kann vermöge ihrer Biegsamkeit diese genau darstellen, wenn beim Sänger hinlänglich feines Gehör und genügende Fertigkeit vereint sind. Bei den Bogeninstrumenten hängt es von diesen nämlichen Fähigkeiten ab, ob der Künstler beim Erzeugen der Töne durch gehöriges Aufsetzen der Finger sie völlig rein darstellt. Die Schwierigkeiten sind gröfser bei denjenigen Blasinstrumenten, bei denen die Länge der schwingenden Luftsäule nicht durch Klappen verändert wird, z. B. beim Horn, der Trompete u. s. w., denn bei diesen müssen

Digitized by Google

die richtigen Intervalle durch die Modificationen des Anblasens rein dargestellt werden, bei den übrigen geschieht dieses durch das nämliche Mittel und durch Anwendung der Klappen, deren Zahl eben deswegen bei manchen so grofs ist. Unter den Instrumenten mit festen Tönen sind einige so mangelhaft, dafs sie für die Tonart des Stückes jedesmal rein gestimmt werden müssen, wie Guitarren und die Harfen, die kein vollkommenes Pedal haben, bei den übrigen, namentlich den Orgeln und Forte-Piano's, wird die gleichschwebende oder irgend eine ungleichschwebende, vorzugsweise die Kirnberger'sche Temperatur durch das Stimmen erhalten, auf jeden Fall eine solche, die die Ungleichheiten zwischen cis und des, dis und es u. s. w. so weit ausgleicht, dafs jede Tonart auf gleiche Weise rein erscheint. Auf welche Weise dieses für die verschiedenen Schwebungen geschieht, meistens durch Ausgleichung der Quinten und deren Octaven, mufs aus den hierüber handelnden Werken entnommen werden[1].

56) Ein einzelner Ton kann nur dann angenehm seyn, wenn er bestimmt ist, das heifst, wenn er durch regelmäfsig wiederkehrende Hauptschwingungen des tönenden Körpers und die hierzu pafslichen Nebenschwingungen der mit ihm verbundenen Körper erzeugt wird; eine widerliche Afficirung des Ohrs findet statt, wenn das Gegentheil hiervon eintritt. Ein zweiter Grund der Annehmlichkeit einzelner Töne liegt in der Art, wie die Vibrationen erzeugt und zum Ohre fortgeführt werden. Manche derselben sind scharf und ich glaube sie mit den Prellstöfsen eines harten Körpers vergleichen zu können, statt dafs andere weicher und runder, gleichsam einem drückenden Stofse ähnlich, die Gehörnerven treffen. Eine ganz verschiedene Empfindung würden in gleichen Zeiten gleichmäfsig wiederholte und gleich starke Stöfse mit einem eisernen und einem hölzernen Stäbchen, beide von der nämlichen Beschaffenheit, gegen irgend einen Theil des mensch-

---

1 Ueber die Theorie und das Mathematische dieser Aufgabe handelt sehr gründlich Chladni in seiner Akustik. Praktische Anleitungen findet man in: Neidhard mathematische Abtheilung des Monochord's. 1732. Marpurg Versuch über die musikalische Temperatur. Berl. 1776. Lambert Remarques sur le Tempérament cet., in Mém. de Berl. 1774. Tib. Cavallo in Phil. Trans. 1788. T. LXXVIII. P. II.

lichen Körpers gerichtet, erzeugen, und durch diese Aehnlichkeit läfst sich, wie ich glaube, der Unterschied gleicher, aber rücksichtlich der Annehmlichkeit sehr verschiedener Töne deutlich machen. So sind unter andern die Töne der Glasharmonica eigenthümlich scharf, manche können sie nicht ertragen, und ich gestehe, dafs ich selbst sie zwar wegen ihrer Reinheit und Politur schön nennen möchte, allein wegen ihrer Schärfe sind sie mir so unangenehm, dafs ich sie möglichst vermeide. Es erstreckt sich dieses auch auf Töne, die mit dem Bogen erzeugt werden, und sogar auf die des Forte-Piano, namentlich auf den ganz verschiedenen Anschlag, der bei einigen Spielern hart, bei andern weich ist, beides in vielfachen Abstufungen, worauf bei gleicher Fertigkeit und gleichem Vortrage die gröfsere oder geringere Annehmlichkeit der Töne beruht. Hierbei kommt dann allerdings die Art der erzeugten Vibrationen der Saiten sehr in Betrachtung, die oben §. 9 ff. näher untersucht worden ist.

Die durch die Verbindung zweier und mehrerer Töne gegebenen *Intervalle* sind nach der so eben beendigten Untersuchung consonirend, wenn sich ihre Verhältnisse durch einfache Zahlen ausdrücken lassen; im entgegengesetzten Falle aber sind sie dissonirend. Im Allgemeinen darf angenommen werden, dafs die consonirenden Intervalle für sich angenehm sind, die dissonirenden aber unangenehm; allein eine blofse Folge von Consonanzen würde ebenso, wie eine anhaltende Wiederholung des nämlichen, an sich sehr schönen Tones, ermüden und könnte selbst unangenehm werden. Hieraus ergiebt sich evident, dafs die gewöhnliche Behauptung, Einfachheit sey die *einzige* Bedingung der Schönheit in der Musik, nicht blofs unbestimmt ist, sondern auch streng genommen zu einem ganz falschen Resultate führen müfste. Die aus der Wahrnehmung eines einzelnen schönen Tones entspringende Annehmlichkeit gleicht derjenigen, die auch auf andere Sinne, auf das Auge namentlich, durch eine Farbe, aber auch auf die nicht edlen Sinne, den Geschmack und den Geruch, hervorgebracht wird, die Consonanz zweier Töne geht wegen des bestehenden Zahlenverhältnisses schon mehr zum Geistigen über und übertrifft das, was durch die Zusammenstellung von zwei Farben erzeugt wird, deswegen beträchtlich, weil zwischen diesen ein solches, blofs durch Seelenthätigkeit wahr-

nehmbares Verhältnifs nicht statt findet. Aus eben diesem Grunde hat man in Folge nicht gehöriger Würdigung des bestehenden Unterschiedes vergebens versucht, *Farben-Claviere* darzustellen. Die Operationen der Seele werden zusammengesetzter bei der Wahrnehmung des Zusammenfallens und der Reihenfolge verschiedener Intervalle, hierbei werden die Dissonanzen wichtig, insofern sie die Aufmerksamkeit und das Bestreben erregen, auf eine zu erfassende Weise von ihnen wieder zu den Consonanzen geführt zu werden, wie sich schon daraus deutlich ergiebt, dafs es für die meisten Menschen höchst widerlich ist, wenn man ein Stück mit einer Dissonanz schliefst oder wenn dasjenige geschieht, was man nennt einen Gedanken (einen Satz) nicht zu Ende bringen. In dieser Hinsicht unterscheidet sich sehr diejenige natürliche Anlage, die man musikalisches Gehör nennt, welche auf der gröfsern oder geringern, mehr oder minder ausgebildeten Fertigkeit beruht, den Zusammenhang der verschiedenen mit einander wechselnden consonirenden und dissonirenden Intervalle zu begreifen. Die Gewohnheit hat hierauf gleichfalls einen bedeutenden Einfluſs und kann bewirken, dafs man einer Gattung von Tonstücken oder den Productionen eines gewissen Componisten, womit man sich am meisten vertraut gemacht hat, vorzüglich oder ausschliefslich Beifall schenkt. Für die Mathematik würde es eine zu schwierige und allzuweitläuftige Aufgabe seyn, den Zusammenhang zwischen den gleichzeitigen und in kürzern oder längern Zwischenräumen einander folgenden und mit einander wechselnden consonirenden und dissonirenden Intervallen durch Zahlengröfsen nachzuweisen, sie setzt ihren Forschungen im Gebiete der Akustik Grenzen und überläfst die Aufsuchung der Regeln der Harmonie der Aesthetik der Musik, der *Tonsetzkunst*.

E. Specielle Untersuchungen über die Entstehung der Töne durch die verschiedenen Mittel, oder von den musikalischen Instrumenten.

57) Die verschiedenen Arten der Erzeugung von Tönen sind zwar bereits bei der Untersuchung der Schallschwingungen abgehandelt worden, es kommen jedoch dabei noch manche Eigen-

thümlichkeiten in Betrachtung, die hier noch kurz erwähnt zu werden verdienen. Die hierbei zu befolgende Ordnung bietet sich von selbst dar, indem es am zweckmäfsigsten ist, zuerst von denjenigen Instrumenten zu handeln, bei denen starre Körper schwingen, und dann von denjenigen, bei denen die schwingende Luftsäule das eigentliche tönende Mittel ist. Unter den letztern giebt es verschiedene, bei denen beide Arten von Körpern den Ton erzeugen, wobei es oft schwer bestimmbar ist, welcher von beiden der eigentlich bedingende sey; inzwischen ist die Schärfe der Abtheilung nicht gerade Hauptsache.

a) Instrumente aus starren oder gespannten elastischen Körpern.

58) Die Untersuchung der Instrumente, bei denen starre Körper schwingen, die entweder gespannt oder an sich elastisch sind, bietet die geringsten Schwierigkeiten dar. Sind diese Körper Saiten, so werden sie entweder mit Hämmern, Stiften und auf sonstige Weise geschlagen, oder mit den Fingern geschnellt, oder mit einem Bogen gestrichen. Die unter diese Classe gehörigen brauchbaren Instrumente sind ihrem Wesen nach bekannt, die Theorie der durch sie zu erzeugenden Töne ist aus dem Vorhergehenden deutlich, eine nähere Beschreibung derselben gehört zum praktischen Instrumentenbau.

Unter die minder bekannten, seltenern und einer nähern Beschreibung würdigen Instrumente gehört die *Glasharmonica*. Die Idee dazu ist aus dem Tönen gewöhnlicher Gläser, wenn deren Rand mit einem nassen Finger gerieben wird, entnommen, Benjamin Franklin aber erhob sie eigentlich zu einem musikalischen Instrumente dadurch, dafs er die in einander geschobenen Glocken auf einer horizontalen Axe befestigte, diese vermittelst eines Schwungrades umdrehte und es dadurch möglich machte, mehrere gleichzeitig mit den Fingern zu berühren und leichter von der einen zur andern überzugehn[1]. Später hat v. Meyer zu Knonow die halbkugelför-

---

1 C. Volbeding Archiv nützlicher Erfindungen. 1792. S. 189. Eine gewisse Mifs Dawis soll schon 1765 eine besessen und gespielt haben. Halls Magie. III. 173.

Digitized by Google

nigen Glocken mit länglichen vertauscht [1], Röllig zuerst, dann Hessel und Klein haben sie mit einer Tastatur versehn [2], da es aber bei ihr vorzugsweise auf Reinheit und völlige Gleichmäfsigkeit des Tones ankommt, so darf man mit Recht sagen, dafs Grenié sie in gröfster Vollkommenheit dargestellt habe, indem er die Glocken inwendig und auswendig zu gleichmäfsiger Dicke schliff und dann oben so lange wegnahm, bis die vollständig reine Stimmung vorhanden war [3].

Chladni's Instrumente mit der Streichwalze verdienen noch besonders genannt zu werden, da ihre Töne die Eigenthümlichkeit haben, dafs sie von Schwingungen herrühren, in welche die tönenden Körper durch andere mit ihnen verbundene vibrirende versetzt sind, und wovon der Mechanismus lange ein Geheimnifs blieb (§. 40). Das erste zu dieser Classe gehörige Instrument ist das *Euphon*, welches der Erfinder im Jahre 1790 zu Stande brachte und von dieser Zeit an öffentlich zeigte. Dasselbe besteht aus einer 3,5 Octaven umfassenden Claviatur aus theils weifsen, theils schwarzen horizontal liegenden Glasstäben, die mit nassen Fingern nach der Länge gestrichen, dadurch in longitudinale Schwingungen versetzt werden und diese den mit ihnen verbundenen, in einem hintern Kasten verborgenen, verticalen Glas- oder Metallstäben mittheilen, deren hierdurch erzeugte transversale Schwingungen dann den eigentlichen Ton geben [4]. Einige haben den Bau aus dem äufsern Ansehn der Claviatur zum Theil errathen und das Instrument nachgebildet, jedoch ist keins von diesen genauer bekannt geworden, aufser das durch Maslosky verfertigte *Coelison*, welches sehr gepriesen wurde [5], nach dem von mir gehörten Originale aber in Vergleichung mit andern Instrumenten ebenso unvollkommen ist, als das ursprüngliche doch eigentlich genannt werden mufs. Dasselbe besteht aus einem aufgerichteten Flügel mit Saiten, wie das Forte-Piano bezogen, jedoch werden dieselben nicht durch Hämmer zum Schwingen gebracht, sondern durch horizontale, an ihnen befestigte, runde Fischbeinstäbchen, die der

1 Journ. von und für Deutschland, 1784. S. 2.

2 Musikal. Zeit. 1799. S. 675.

3 Biot Traité. T. II. p. 197.

4 Chladni's Beiträge zur praktischen Akustik und zur Lehre vom Instrumentenbau u. s. w. Leipz. 1821. S. 135 ff. Vergl. G. LXIX. 51.

5 G. XX. 128.

Länge nach mit den Fingern gestrichen werden; letztere sind dann nicht nafs, vielmehr bedient sich der Spieler lederner, mit Colophoniumpulver eingeriebener Handschuhe [1].

Als eine bedeutende Verbesserung dieser Art Instrumente ist die *Streichwalze* zu betrachten, die, gleichfalls von Chladni erfunden, dazu dient, die tönenden Stäbe mittelbar oder unmittelbar in Schwingungen zu versetzen. Sie besteht aus einer etwa 4 Z. dicken, mit Glascylindern überzogenen oder hölzernen, selten oder nie metallenen, horizontal liegenden und der Länge der Claviatur angemessenen Walze mit einem Schwungrade und einer Kurbel, die durch eine herabgehende Stange mit einem Fufstritte nach Art der Spinnräder durch Treten umgedreht wird. Vermittelst einer geeigneten Claviatur werden dann die schwingenden Stäbe entweder selbst, oder die in ihrer Mitte befestigten Hülfsstäbe gegen diese Walze gedrückt, als Zwischenmittel dient ein Stück Filz oder Leder, und indem dann die gläserne Walze benetzt oder die hölzerne mit Colophoniumpulver eingerieben ist, so entsteht eine Reibung, wodurch die Stäbe zum Vibriren gebracht werden [2]. Chladni nannte sein Instrument *Clavicylinder,* andere Künstler bildeten dasselbe ungeachtet des Geheimhaltens der Bauart nach und gaben ihm dann andere verschiedene Namen. Zuerst geschah dieses durch Dietz zu Emmerich, dessen rauh klingendes Instrument den Namen *Melodion* oder *Panmelodion* erhielt, ein anderes, welches ich gleichfalls blofs gesehn und gehört habe, ohne dessen speciellen Namen zu kennen, brachte der bekannte Violinist Creuzer aus Italien. Dasselbe besteht aus messingnen tönenden Stäben, die der Streichwalze genähert werden, wonach ich vermuthe, dafs es durch Luigi Concone verfertigt worden ist, welchem Chladni [3] das Geheimnifs der Construction bereits 1811 mitgetheilt hatte. Die vollendetste Nach-

---

1 Ein anderes dem Euphon nachgebildetes Instrument, *Chalybsonans* genannt, von Dietz zu Emmerich verfertigt, kenne ich blofs dem Namen nach aus Chladni's eben genannter Schrift S. 160. Chladni hat sein Euphon später bedeutend verbessert, es scheint aber kein weiterer Gebrauch von dieser neuen Construction gemacht worden zu seyn. G. LXXV. 69.

2 Ueber die Bauart solcher Instrumente im Allgemeinen und die Beschaffenheit der einzelnen Theile handelt ausführlich Chladni in der genannten Schrift.

3 A. a. O. S. 120.

bildung ist durch Buschmann in seinem *Terpodion* zu Stande gebracht worden, welches in verschiedenen Ländern öffentlich gezeigt und dadurch sehr allgemein bekannt geworden ist, mit Ausnahme der verheimlichten innern Structur, indem der Künstler behauptet, die klingenden Stäbe seyen von Holz, woran ich jedoch zweifle, da ich mit Chladni der Meinung bin, dafs Holz minder klare Töne erzeugt und dem Einflusse der Temperatur und Feuchtigkeit zu sehr ausgesetzt ist. Der wegen seiner übrigen musikalischen Automaten berühmte Kaufmann aus Dresden wählte Saiten statt der Stäbe zur Erzeugung der Töne und nannte sein Instrument hiernach *Harmonichord*, machte jedoch aus dem Zwischenmittel, wodurch die Saiten vermittelst der Streichwalze zum Schwingen gebracht werden, ein Geheimnifs. Chladni hat in seinem genannten Werke alle Einzelheiten, die bei den verschiedenartigsten Constructionen desselben in Betrachtung kommen, ausführlich bekannt gemacht, so dafs jetzt deswegen kein Geheimnifs mehr obwaltet und es blofs an dem Fleifse und der Beharrlichkeit geübter Instrumentenmacher liegt, diesem vermuthlich noch bedeutender Verbesserungen fähigen Instrumente die nöthige Vollendung zu geben, um demselben einen höhern Rang unter den übrigen zu sichern, worauf es wegen der Stärke und Dauer der Töne, so wie durch das mögliche Schwellen derselben gegründete Ansprüche hat.

b) Instrumente mit tönender Luftsäule.

59) Ungleich zusammengesetzter und schwerer zu erkennen sind die verschiedenen Mechanismen, wodurch die Luftsäulen in tönende Schwingungen versetzt werden, und mitunter ist es sogar nicht leicht zu unterscheiden, unter welche Classe man die verschiedenen Vorrichtungen rechnen soll. Als einfachste Instrumente sind diejenigen zu betrachten, bei denen die in einem Rohre oder Gefäfse eingeschlossene ruhende Luftsäule durch einen schräg gegen die Mündung gerichteten stofsenden Luftstrom in Schwingungen versetzt wird. Hierunter gehört jede an einem Ende verschlossene Röhre, gegen deren offenes Ende man mit dem Munde bläst, ein Schlüssel, ein Medicinglas u. s. w., als Instrument die Hirtenflöte, *Papagenoflöte*, die bereits den Alten bekannt war und ein Attribut des Pan ist, weswegen sie auch *Panflöte* heifst. Merk-

würdig ist der Umstand, dafs diese Flöte auch in Peru bekannt war. Dr. Trail aus Liverpool zeigte nämlich bei der Versammlung der Naturforscher und Aerzte zu Hamburg im Jahre 1830 ein Exemplar dieses Instrumentes (*Syrinx*) vor, welches im Grabe eines Inka's gefunden worden ist und wovon ich einen Gypsabgufs besitze. Dasselbe besteht aus einem flachen Stücke Speckstein, in welches 8 Löcher gebohrt und oben 10 Lin. hoch zu ebensoviel Pfeifen gestaltet sind. Zwei kleine, seitwärts durch alle Röhren gehende Löcher geben die Quarten und Quinten der Töne an, auch läfst sich die Octave durch stärkeres Anblasen hervorbringen; auf der einen Fläche aber sind eingeschnittene peruanische Schriftzeichen.

Die in Röhren eingeschlossene ruhende Luftsäule wird leicht in Schwingungen versetzt, wie man daraus ersieht, dafs nach Weber[1] die gewöhnlichen vorhandenen Schallwellen dieses bewirken; denn wenn man eine Röhre von 1 Fufs 3 Zoll Länge und 1,3 Z. Durchmesser aus Pappe gegen das Ohr stemmt, so hört man den leisen Ton a, hält man die andere Oeffnung mit der Hand zu, so hört man fis, und wenn man das offene Ende dem Ohre blofs nähert, gis. Die einfachste Construction hat die gemeine Pfeife, eine unten verschlossene oder offene Röhre, in welcher oben ein Cylinder sich befindet, wovon ein Theil nach der Längenaxe weggeschnitten ist. Unter demselben hat die Pfeife einen schräg laufenden Einschnitt, wodurch eine hinlänglich weite Oeffnung zum Entweichen der Luft und eine Schärfe gebildet wird, wogegen die Luft stöfst und zugleich bei ihrem wellenartigen Strömen die in der Röhre eingeschlossene Luftsäule zum Schwingen bringt, wobei die Höhe des Tones dem §. 39. angegebenen Gesetze gemäfs ist. Einen ähnlichen Bau haben diejenigen Orgelpfeifen, die zu den Labialpfeifen oder den sogenannten Flötenregistern gehören. Sie bestehn aus einer vierkantigen oder cylindrischen Röhre von der erforderlichen Länge d b, die oben offen oder gedeckt seyn kann, in welchem letzteren Falle sie gedackt und hiernach das ganze Register *Gedackt* genannt wird. Den Ton giebt die in ihr eingeschlossene Luftsäule, weswegen ihre Länge der Summe der zwischen den in ihrem Querschnitte gebildeten Wellen angemessen seyn mufs.

Fig. 152.

1 Wellenlehre S. 521.

Diese Röhre ist auf einem konischen Unterstücke, dem Fuſse, befestigt, vermittelst dessen sie in den Behälter gesteckt wird, aus welchem die Luft in ihre Mündung bei a nach Oeffnung derselben durch eine Klappe einströmt. Man nimmt an, daſs der Fuſs bei einer offenen Pfeife den achten und bei einer gedeckten den vierten Theil der Länge der obern Röhre haben müsse; denn das Mittel der gröſsten Höhe und Tiefe einer Welle fällt in den vierten Theil ihrer Länge (§. 38. c.), und wenn daher die im konischen Theile entstehenden Wellen denen in der Röhre correspondiren sollen und in der Mündung durch das Ausströmen der Luft eine Ausgleichung statt findet, wo es weder eine Erhöhung noch eine Vertiefung der Wellen oder für die Luft der Verdichtung und Verdünnung giebt, so muſs der Konus dem vierten Theile der Wellenlänge gleich seyn, die entweder bis in die Mitte oder an das Ende der Röhre reicht. Unter der Mündung bc ist der Konus durch eine Platte (den *Kern)* verschlossen, wovon ein Theil weggeschnitten ist, um eine enge Oeffnung darzustellen, aus welcher die eingeblasene Luft entweicht. Ebendaselbst ist die metallene Pfeife eingedrückt, so daſs zwei die Mündung begrenzende Lippen, jede das *Labium* genannt, eine obere und eine untere, entstehn, wo die ausströmende Luft von der unteren gegen die obere getrieben wird, um die in der Röhre eingeschlossene Luftsäule zum Vibriren zu bringen. Die Weite der Mündung ist wichtig; sie wird anfangs kleiner gemacht und so lange vergröſsert, bis der Ton von gehörig reinem Klange zum Vorschein kommt, auch ist die Breite derselben und die Neigung der Labien gegen einander nicht gleichgültig, das Material aber, woraus die Pfeife besteht, macht keinen wesentlichen Unterschied und ist nur insofern von Bedeutung, als der Körper selbst (nach Abschn. C.) in correspondirende Schwingungen versetzt wird. Man nimmt aus dieser Ursache gern Metall, was auch für die Unveränderlichkeit der Mündung vortheilhaft ist. Daſs die Luft nicht aus der Pfeife ströme, ersieht man an einer über d gehaltenen Lichtflamme.

60) Mit der Untersuchung der Töne, die durch Schwingungen der Luftsäule in Röhren entstehn, haben L. Euler[1]

1 Nov. Comm. Petrop. T. XVI. 1771.

und noch ausführlicher Dan. Bernoulli[1] sich beschäftigt, am ausführlichsten darüber handelt aber Biot[2], gestützt auf die Versuche, die er zur bessern Einsicht der Sache in Verbindung mit Hamel angestellt hat. Um zuerst den Einfluſs des stärkern Anblasens auf die Vermehrung der Schwingungsknoten zu ermitteln, versahen sie eine Glasröhre von 1 Z. Durchmesser und ungefähr 37 Z. Länge mit einem Konus von Blei, in welchem das eben beschriebene Mundloch befindlich war, setzten sie in ein Orgelwerk, dessen Blasebalg mit ungleichen Gewichten beschwert werden konnte, und verglichen die erhaltenen Töne mit den Pfeifen einer reingestimmten Orgel[3]. Nur durch ein unmerkliches Anblasen konnten sie den tiefsten Ton erhalten, welcher $\overline{g}$ war, und da dieser zu $\overline{c}$ in Verhältniſs von 3:2 steht, so muſs derselbe nebst allen andern mit $\frac{2}{3}$ multiplicirt werden, um die richtige Reihenfolge der Töne zu erhalten. Sie erhielten demnach

$\overline{g} = \frac{3}{4} \cdot \frac{2}{3} = 1$

$\overline{\overline{g}} = 3 \cdot \frac{2}{3} = 2$

$\overline{\overline{\overline{d}}} = \frac{9}{2} \cdot \frac{2}{3} = 3$

$\overline{\overline{\overline{g}}} = 6 \cdot \frac{2}{3} = 4$

$\overline{\overline{\overline{h}}} = \frac{15}{2} \cdot \frac{2}{3} = 5$

$\overline{\overline{\overline{\overline{d}}}} = 9 \cdot \frac{2}{3} = 6$

$\overline{\overline{\overline{\overline{f}}}} - = \frac{45}{3} \cdot \frac{2}{3} = 7\frac{1}{9} -$

$\overline{\overline{\overline{\overline{g}}}} = 12 \cdot \frac{2}{3} = 8$

$\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}} = 16 \cdot \frac{2}{3} = 10\frac{2}{3}$

$\overline{\overline{\overline{\overline{d}}}} = 18 \cdot \frac{2}{3} = 12$

Diese Töne folgen in einer arithmetischen Reihe, und es geht hieraus hervor, welchen groſsen Einfluſs die Stärke des Anblasens der Instrumente hat, wodurch auf manchen, z. B. dem Horn, der Trompete u. s. w., die verschiedenen Töne erzeugt

---

1 Mém. de l'Acad. de Paris. 1762.

2 Traité T. II. p. 110 ff.

3 Für die Demonstration und Versinnlichung der einfachsten Gesetze genügt es, von einem Orgelbauer eine hölzerne Flötenpfeife verfertigen zu lassen. Diese geben meistens mit schwachem Anblasen den Grundton und durch Halbirung der Wellenlängen die Octave und die Doppeloctave, was man das Ueberblasen derselben nennt. Die ganze Reihenfolge der im Text angegebenen Töne zu erhalten ist jedoch sehr schwierig.

werden. Biot erwähnt hierbei, dafs der durch 7 ausgedrückte Ton von den Horn- oder Trompetenbläsern nicht hervorgebracht werden kann, was schon Dan. Bernoulli bemerkt und daraus erklärt hat, dafs die diesem Tone zugehörige Abtheilung der schwingenden Luftsäule nicht füglich zu erhalten sey; Biot ist jedoch der Meinung, dafs die Ursache auf einem andern Umstande beruhe, nämlich darauf, dafs dieser Ton in der Tonleiter nicht vorkommt und daher die Künstler nicht lernen, diejenige eigenthümliche Stärke des Blasens anzuwenden, die demselben zugehört. Inzwischen gesteht Biot zu, dafs die zu diesem Tone erforderlichen Vibrationsmengen zu den übrigen nicht in sehr einfachem Verhältnisse stehn, und sie mufsten bei den Versuchen mit der Hand nachhelfen, um der Luft in der Mündung die erforderliche Richtung zu geben. Wenn man also theoretisch untersucht, welche Abtheilungen die in einer Pfeife eingeschlossene Luftsäule erhalten kann und welche Töne diesen zugehören, so giebt dieses folgende Resultate.

1	=	C	13	=	as	+	25	= gis
2	=	C	14	=	ais	+	26	= as +
3	=	G	15	=	h		27	= a —
4	=	c	16	=	c		28	= ais +
5	=	e	17	=	des	—	29	= b +
6	=	g	18	=	d		30	= h
7	=	ais +	19	=	es	—	31	= ces +
8	=	c	20	=	e		32	= c
9	=	d	21	=	f	—	33	= cis —
10	=	e	22	=	fis	—	34	= des —
11	=	fis —	23	=	ges	—	35	= des +
12	=	g	24	=	g		36	= d.

Aus dieser Uebersicht folgt, dafs auf dem Horne und ähnlichen Instrumenten die Zahl der möglichen Töne in der Tiefe geringer ist, mit der Höhe dagegen so zunimmt, dafs sogar die geometrische Reihe derselben hervorgebracht werden kann. Hierzu kommt dann noch das Mittel, die untere Oeffnung mit der Hand oder einem Stopfer ganz oder zum Theil zu verstopfen und dadurch die Länge der schwingenden Luftsäule und den Wechsel ihrer verschiedenen Abtheilungen zu bedingen. Inzwischen bemerkt Biot mit Recht, dafs es eine ausgezeichnete Uebung erfordert, die Stärke und eigenthümliche Art des Blasens hinlänglich zu modificiren, um alle diese verschiedenen Töne hervorzubringen, was gemeine Künstler nicht vermögen.

Ein zweiter Gegenstand der Untersuchung ist die Weite der Oeffnung, wenn zugleich kein Theil der Röhre verschlossen ist. Um hierüber Aufklärung zu erhalten, was wegen der Schwäche der erzeugten Töne schwierig ist, nahm Dan. Bernoulli eine am einen Ende verschlossene Röhre von 4 Zoll Länge, blies aus einiger Entfernung hinein und erhielt genau $\equiv$ g der Orgeln, bei denen eine 4 Fufs lange Pfeife c giebt. Blies er aus der Nähe in die Röhre, wodurch ein Theil der Oeffnung verschlossen wurde, so entstand ein um eine kleine Tertie tieferer Ton, oder derselbe wurde um $\frac{1}{6}$ tiefer, bei längeren Röhren verminderte sich dieser Unterschied und verschwand bei sehr langen gänzlich. Um aber mit Genauigkeit auszumitteln, welchen Einfluſs die Mündung auf den Ton habe und wohin man den Anfang der Schwingungen setzen müsse, machte Bernoulli[1] Versuche mit Röhren von verschiedener Länge, gab ihnen eine gleiche Embouchüre von der Art, wie oben beschrieben worden ist, deren Weite $\frac{1}{6}$ derjenigen der Röhre betrug, wonach also $\frac{5}{6}$ der letzteren als verschlossen zu betrachten sind, und machte den Ton, welchen die bis zu einem aliquoten Theile vermittelst eines hineingeschobenen Stopfers verschlossene Pfeife gab, demjenigen gleich, welcher der ganz offenen zugehörte. Indem nämlich eine offene Röhre in der Mitte einen Schwingungsknoten erhält, welcher durch das Verschliefsen der äufseren Oeffnung wegfällt,

1 Nach der Darstellung von Biot in Traité. T. II. p. 132 ff.

so müfste sie bis zur Mitte verstopft den nämlichen Ton, als ganz offen, geben, wenn die Schwingungen bei der Embouchüre selbst anfingen und das Hineintreten dieses Anfangspunctes der Oscillationen in das Innere der Röhre nicht statt fände. Die folgende Tabelle giebt eine Uebersicht der erhaltenen Resultate. Die erste Columne enthält den Ton, den die ganz offene Pfeife gab, die zweite ihre Länge in Linien von der Mitte der Embouchüre an gemessen, die dritte die Tiefe, bis zu welcher man den Stopfer hineinschieben mufste, um den ursprünglichen Ton wieder zu erhalten und ihn also bis zum mittleren Schwingungsknoten zu bringen, die vierte enthält den Rest der Länge, also vom Schwingungsknoten bis zur Embouchüre, die fünfte giebt das Verhältnifs beider Längen, die sechste endlich das Tonverhältnifs beider Theile.

Digitized by Google

Ursprünglicher Ton[1].	Länge der Röhre in Lin.	Abstand des Schwingungsknotens vom Ende	Abstand des Schwingungsknotens von d. Embouch.	Verhältnifs d. Längen	Vertiefung des Tones des offenen Endes.
c	137,0	72,0	65,0	$\frac{65}{72} = \frac{9,02}{10}$	von e zu d kl. Secunde
d	121,0	64,0	57,0	$\frac{57}{64} = \frac{8,91}{10}$	— e zu d kl. Secunde
e	107,6	57,6	50,0	$\frac{50}{57,6} = \frac{7,81}{9}$	— d zu c gr. Sec.
f	100,0	54,0	46,0	$\frac{46}{54} = \frac{5,11}{6}$	— es zu c kl. Tertie
g	88,0	48,0	40,0	$\frac{40}{48} = \frac{5,00}{6}$	— es zu c kl. Tertie
a	76,6	42,6	34,0	$\frac{34}{42,6} = \frac{3,99}{5}$	— e zu c gr. Tertie
h	67,8	38,8	29,0	$\frac{29}{38,8} = \frac{2,99}{4}$	— f zu c Quarte
$\overline{c}$	62,0	36,0	26,0	$\frac{26}{36} = \frac{18,06}{25}$	— fis zu c überm. Quarte
$\overline{d}$	53,0	32,0	21,0	$\frac{21}{32} = \frac{1,97}{3}$	von g zu c Quinte
$\overline{e}$	45,8	28,8	17,0	$\frac{17}{28,8} = \frac{2,95}{5}$	— a zu c gr. Sexte
$\overline{f}$	42,0	27,0	15,0	$\frac{15}{27} = \frac{69,44}{125}$	— his zu c überm. Sexte
$\overline{g}$	36,0	24,0	12,0	$\frac{12}{24} = \frac{1}{2}$	von $\overline{c}$ zu c Octave
$\overline{a}$	31,3	21,3	10,0	$\frac{10}{21,3} = \frac{11,73}{25}$	— $\overline{cis}$ zu c kl. None
$\overline{h}$	27,2	19,2	8,0	$\frac{8}{19,2} = \frac{2,08}{5}$	— $\overline{d}$ zu c De-Decime
$\overline{\overline{c}}$	25,0	18,0	7,0	$\frac{7}{18} = \frac{3,11}{8}$	— $\overline{f}$ zu c Undecime.

Die in der dritten Columne enthaltenen Zahlen stehn im genauesten Verhältnisse mit den erzeugten Tönen, wie sich schon auf den ersten Blick aus den Zahlen 18, 36, 72 er-

1 Die Töne beginnen mit viergestrichen c. Um die vielen Striche zu vermeiden, habe ich vier Striche weggelassen und mit c den Anfang gemacht.

Digitized by Google

giebt; auch sieht man, dafs bei den längern Röhren der Einfluſs der Embouchüre gänzlich verschwindet. Biot hat eine Gleichung zwischen den Zahlen der dritten und vierten Columne aufgesucht und gefunden, dafs schon die der geraden Linie fast vollkommen genügt, mehr aber die einer Hyperbel der zweiten Ordnung. Die Aufgabe ist leicht, klärt jedoch das Problem der Schallschwingungen nicht auf, und ich lasse es also bei einer bloſsen Angabe der Sache bewenden. Wichtiger sind die Resultate der Versuche, die Biot und Hamel über den Einfluſs ungleich weiter Embouchüren angestellt haben. Sie bedienten sich hierzu einer 4 F. langen hölzernen Pfeife, von quadratischem Querschnitte, dessen Seite 4 Z. betrug, am einen Ende verschlossen; die Oeffnung hatte die Breite der ganzen Seite und konnte durch das Herabdrücken eines Schiebers über der obern Lippe der Pfeifenmündung mehr verengt werden. Als Maſs der Verengerung dient die Bestimmung, dafs 66,6 Theile derselben einen Quadratzoll ausmachen. Die Versuche gaben folgende correspondirende Werthe.

Erzeugte Töne.	Verhältnifs derselben.	Gröſse der Oeffnung.
c	1	66,00
$\overline{g}$	3	36,50
$\overline{\overline{e}}$	5	26,00
$\overline{\overline{h}}$	7	20,50
$\overline{\overline{\overline{d}}}$	9	16,50
$\overline{\overline{\overline{f}}}$	11	14,00
.....	.....	.....
$\overline{\overline{\overline{\overline{f}}}}$	43	3,80

Die Uebersicht ergiebt, dafs keiner der erhaltenen Töne den geraden Zahlen zugehört, auch war es ganz unmöglich, durch irgend eine Veränderung des Mundloches die Octave zu erzeugen, was der Theorie durchaus angemessen ist.

Digitized by Google

60) Die bisherigen Untersuchungen bezogen sich insgesammt auf cylindrische oder überall gleich weite Pfeifen. Daniel Bernoulli und L. Euler[1] haben ihre gründlichen Forschungen auch auf konische und hyperbolisch gestaltete ausgedehnt, die Resultate führen aber auf die nämlichen allgemeinen Gesetze, als die bisher erörterten, und können daher hier übergangen werden. Einige Aufmerksamkeit verdienen aber noch die Schwingungen der Luftsäulen in Pfeifen, die Oeffnungen in ihrer Seite haben. Biot[2] wählte zur Demonstration die Traver-Flöte, eine Röhre, die alsdann tönt, wenn die in ihr eingeschlossene Luftsäule durch das schräge Blasen gegen den scharfen Rand des Mundloches (*Embouchure*) in Schwingungen versetzt wird. Ohne Rücksicht auf die andern vorhandenen Löcher, oder wenn diese verschlossen sind, ist dieselbe als eine an beiden Enden offene Röhre zu betrachten und giebt daher, wenn die Löcher insgesammt verschlossen werden, den Grundton. Aus dem Vorhergehenden folgt, dafs die Weite des Mundloches für den Ton nicht ohne Einflufs ist, vielmehr wird das Instrument mit vermehrter Weite tiefer. Um den Einflufs der Seitenlöcher aufzufinden, verfertigten Biot und Hamel ein pappenes Rohr von etwa 1 F. Länge und 1 Z. Durchmesser, versahen es mit einem bleiernen Fufse, wie eine Orgelpfeife, und erhielten durch Anblasen den Grundton. Darauf bohrten sie in der Mitte des Rohrs ein kleines Loch und fanden, dafs hierdurch der Ton um eine grofse Secunde erhöht worden war, denn bei gleich starkem Anblasen ward d statt c gehört. Sie erweiterten darauf die Oeffnung nach dem Umkreise hin, ohne Vermehrung der Höhe in der Richtung der Axe, und erhielten allmälig die vollständige Reihe der sogenannten ganzen Töne, ja sie hätten durch Anwendung gröfserer Sorgfalt auch die halben erzeugen können. Biot findet dieses der Theorie durchaus angemessen. Eine an beiden Enden offene Röhre hat nämlich einen Schwingungsknoten in der Mitte; auf diesen übt das Loch bei zunehmender Gröfse einen Einflufs aus, bis es so grofs wird, dafs die Luft frei durch die Oeffnung communicirt und also die Octave zum Vorschein kommt, die zwischen beiden liegenden

1 An den a. Orten.
2 Traité. T. II. p. 163.

Digitized by Google

Töne hängen aber von der Weite der Oeffnung auf gleiche Weise ab, als durch die letzten Versuche im vorigen §. ausgemittelt worden ist. Man sieht hieraus also, dafs die Entfernung der Löcher vom Ende oder von der Embouchüre und die Gröfse derselben einen Einfluſs auf die Höhe des Tones haben muſs und dafs dieser eine Modification erleiden müsse, wenn man das Loch allmälig mit dem Finger verschliefst. Die Biegungen und Krümmungen der Instrumente sind von keinem Einflusse und dienen blofs dazu, sie bequemer zum Handhaben darzustellen, denn die Schwingungen einer gekrümmten Luftsäule sind denen einer geraden völlig gleich; die Dicke der Luftsäule ist gleichfalls von keinem sehr wesentlichen Einflusse auf die Höhe, so lange die Röhre cylindrisch ist, jedoch macht sie den Ton stärker, weswegen zu den tiefen Tönen der Orgel dicke Pfeifen erfordert werden, die konische Form wird aber dann bedeutend, wenn sie die Röhre einer weitern mit einem engern Ansatze ähnlich macht. Inzwischen muſs man nach Weber[1] die Pfeifen der Flötenwerke etwas verkürzen, wenn sie bei vermehrter Weite den nämlichen Ton geben sollen.

61) Die bedeutendste Classe von Pfeifen machen die mit *Zungen* versehenen aus, wozu auch die *Rohrwerkzeuge* gehören. Zwischen diesen und den abgehandelten Flötenwerken liegen diejenigen ungefähr in der Mitte, die mit einem Mundstücke geblasen werden, als das *Horn* (wozu auch das Posthorn gehört), die *Trompete*, die *Posaune* und das *Serpent*. Das Mundstück besteht aus einem metallenen abgestumpften Kegel, welcher auf das Instrument gesteckt wird, in seiner Axe mit einem engen Loche durchbohrt, am obern Ende aber ungefähr halbkugelförmig ausgehöhlt und mit einem etwas breiten Rande versehn ist. Gegen diesen werden die Lippen gedrückt und der durch eine in ihrer Mitte befindliche Oeffnung gepreſste Luftstrom setzt die im Instrumente eingeschlossene Luftsäule in Schwingungen. Nach meiner Ansicht gerathen hierbei die Lippen selbst in Vibrationen, die sich der ausströmenden Luft mittheilen und dadurch diejenigen bedingen, die in dem Instrumente entstehn, wonach diese also den Rohrwerkzeugen mindestens nahe kämen. Uebrigens kom-

1 Wellenlehre S. 525.

men bei ihrem Baue und den durch sie erhaltenen Tönen die allgemeinen Gesetze der Luftschwingungen in Röhren zur Anwendung.

Die *Rohrwerkzeuge* und *Zungenpfeifen* lassen sich insgesammt in zwei Hauptclassen theilen, nämlich mit aufliegenden und mit einschlagenden vibrirenden Blechen. Unter die erste Classe gehören zuerst diejenigen Rohrinstrumente, bei denen zwei elastische Blätter von hartem, durch starke Längenfibern ausgezeichneten Holze einander gegenüberstehn, in der Mitte etwas ausgebogen sind und eine feine Oeffnung zwischen sich lassen, durch welche die Luft beim Anblasen dringt und die im Instrumente eingeschlossene Luftsäule in Schwingungen versetzt. Dafs sie dabei selbst vibriren, also die Erzeugung des Tones keineswegs allein in Folge des Einströmens der Luft durch die feine Oeffnung statt finde, geht daraus hervor, dafs eine gleichgestaltete feine Oeffnung in einem harten Körper zur Erzeugung eines Tones nicht genügt, auch die Blätter eine gewisse eigenthümliche Elasticität haben müssen, die schon dann wegfällt, wenn sie trocken sind, auch fühlt man deutlich die Bebungen zwischen den Lippen. Der Ton ist nur dann rein und wohlklingend, wenn die Fibern dieser Blättchen eine durchaus gleichmäfsige und hinlängliche Elasticität haben, nach oben im gehörigen Verhältnisse dünner werden, und an den Enden gerade abgeschnitten sind. Hierunter gehören die *Hoboë* und das *Fagott*. Verschieden hiervon ist die *Clarinette*, bei welcher ein Schnabel von sehr hartem (Eben-) Holze eine auf einem feinen Schleifsteine sehr eben geschliffene flache Bahn erhält, auf welcher das Blatt von spanischem Rohre mit seiner gleichfalls eben geschliffenen Bahn so aufgebunden oder unter einem metallenen Ringe festgeschraubt wird, dafs sein wenig abstehendes Ende mit der Spitze des Schnabels eine feine Oeffnung läfst. Die verschiedenen Töne werden bei allen dreien dadurch hervorgebracht, dafs die Lippen beim schwächern oder stärkern Einblasen der Luft die Blätter mehr oder weniger andrücken, wobei man fühlt, dafs sie vibriren und ein blofses Einströmen der Luft zur Erzeugung des Tones nicht genügt.

Ein ähnliches Verhalten zeigt sich bei allen übrigen vibrirenden Blättchen, die nicht zwischen den Lippen oder im Munde gehalten werden, sondern den Luftstrom aus einem

Windkasten erhalten. Zu unbedeutend, um eine nähere Beschreibung zu verdienen, sind die Kinder-Instrumente, Trompeten, Posthörner u. dgl., in denen ein dünnes Metallblech vibrirt und einen blarrenden, widrigen Ton giebt, die Hormeln oder Blarrpfeifen, die dem *Sennenhorne* ähnlich von den Kindern im Frühlinge aus frischem Baste geflochten und mit einem Bastrohre, ähnlich dem des Fagotts, versehn werden, die kleinen Pfeifen aus Schilfrohr, bei denen durch Wegschneiden eines Theils der harten Holzsubstanz an einer Seite ein Theil der feinen innern Haut entblöfst wird und durch die durchströmende Luft zittert. Bei allen diesen Instrumenten können die Vibrationen nicht gleichmäfsig seyn und daher auch keine reinen, wohlklingenden Töne gebildet werden.

Die Zungenstücke haben so ziemlich die nämliche Gestalt, die Zungen mögen aufliegende oder einschlagende seyn. Die Mundstücke der erstern bestehn aus einem metallenen, meistens aus Kupfer verfertigten, oben gekrümmten, zur Hälfte aufgeschnittenen Cylinder R, auf dessen ebener Fläche die Zunge L, wie das Blatt auf dem Schnabel der Clarinette, so aufliegt, dafs sein Ende ein wenig absteht. Diese Röhre wird oben durch die Fassung T T des untern Theiles der Pfeife, des Mundstücks T T V V, herabgesteckt, welches luftdicht verschlossen mit seinem untern, konisch zulaufenden Ende, dem Kegel, in die Windlade pafst, so dafs also nach dem Oeffnen einer Klappe die comprimirte Luft in die Oeffnung S eindringt und durch die Ritze zwischen der Röhre und der Zunge entweicht. Hierdurch geräth die letztere in Schwingungen und theilt diese der eingeschlossenen Luftsäule mit oder diese mufs vielmehr durch das stets wiederkehrende Verschlossenwerden der Röhre selbstständig vibriren und also einen Ton geben. Um den Abstand der Zunge von der Röhre und ihre Elasticität gehörig zu modificiren, damit der erforderliche Ton zum Vorschein komme, dient die Krücke, der starke federnde Draht F f, welcher gegen sie drückt und verschiebbar ist, um ihn mit dem untern gebogenen Theile an der gehörigen Stelle gegen die Zunge drücken zu lassen, wobei im Allgemeinen der Ton höher wird, je tiefer man die Krücke herabdrückt. Hierbei steigt der Ton jedoch keineswegs den Quadraten der Länge umgekehrt proportional, wie Biot[1] aufge-

Fig. 153.

1 Traité T. II. p. 167.

Digitized by Google

funden hat, welcher hieraus folgert, dafs die Vibrationen der Zunge nicht einzig und unmittelbar die Höhe des Tones bedingen. Derselbe will auch gefunden haben, dafs die Zunge sich eigenthümlich biegen und dadurch einen veränderten Ton geben könne, was auch dann geschieht, wenn man das Rohr, die Pfeife, die man auf das Stück T T aufsteckt, um den Ton zu verstärken und klingender zu machen, plötzlich mit der Hand verschliefst. Dafs die hierdurch entstehende Verlängerung der schwingenden Luftsäule auf den erzeugten Ton einen sehr bedeutenden Einflufs habe, unterliegt keinem Zweifel, indem hierdurch auf gleiche Weise ein eigentliches Instrument gebildet wird, als durch das Aufstecken des Kopfstücks auf die Clarinette. Dann aber kommt die mehrfach erörterte Frage in Betrachtung, ob die von ihrer Elasticität abhängenden Schwingungen der Zunge, oder die Vibrationen der Luftsäule in der Pfeife, die durch deren Länge bedingt werden, als die Höhe des Tones bestimmend zu betrachten sind. Biot entscheidet für das Letztere, weil das Blech nur einen sehr schwachen und unvollkommenen Ton gebe; gründlich ist diese Aufgabe aber durch Weber in Beziehung auf die einschlagenden Zungen untersucht worden, wie sogleich erwähnt werden soll; es läfst sich aber als ausgemacht ansehn, dafs beide Arten von Mundstücken den nämlichen Gesetzen unterliegen, und demnach kann diese Frage hier übergangen werden. Biot und Hamel bedienten sich einer gläsernen Röhre, um das Spiel der Zunge zu beobachten, und erhielten dann den tiefsten Ton, wenn die Zunge ganz frei schwebte, der Ton wurde höher, wenn man die Krücke tiefer herabdrückte, doch hörte der Ton bei gewissen Stellungen derselben ganz auf, wovon die Ursache darin lag, dafs die Zunge zwar vibrirte, aber nicht auf die Bahn der Röhre schlug, also die Oeffnung nicht ganz verschlofs.

Die Töne der Zungenpfeifen sind stark und hellklingend, aber sie sind zugleich oft rauh und scharf. Hamel versuchte daher, die Bahn der Rinne, worauf die Zunge liegt, mit Leder zu überziehn, dieses fest aufzukleben und auf der Oberfläche mit Bimstein zu ebnen, wodurch dann der Ton weicher wurde. Auch die Gestalt der Pfeifen hat auf den Ton einen bedeutenden Einflufs. Am hellsten wird derselbe, wenn die Pfeifen eine konische Erweiterung nach oben erhalten, laufen

sie umgekehrt verjüngt zu, so wird der Ton dumpf und unangenehm, runder und wohlklingender wird er dagegen, wenn die Pfeife oben in einen vereinten doppelten Kegel endet. Den Grund hiervon kann nach Biot die Theorie nicht auffinden; die Erscheinung steht indefs im Zusammenhange mit dem vielfach bestätigten Erfahrungssatze, dafs die Schallwellen in allen hohlen, namentlich auch kugelförmigen Räumen eine eigenthümliche Modification theils der Verstärkung, theils der Milderung ihrer Schärfe erhalten. Fig. 154.

Die Zungenpfeifen werden auch bei denjenigen Registern gebraucht, die die menschliche Stimme (*Vox humana*) nachmachen. Hierbei findet die Eigenthümlichkeit statt, dafs die hierzu dienenden Pfeifen fast alle von gleicher Länge sind, die Tiefe der Töne aber durch die Länge, Breite und abnehmende Steifheit der Zunge bedingt wird. Die Pfeifen sind so eingerichtet, dafs aufser dem Kegel, welcher den Wind zuführt, ihre Länge derjenigen der Zunge gleich ist, oben aber werden sie mit einem konischen Stücke versehn und mit einer Halbkugel gedeckt, in deren Mitte sich ein mäfsig grofses rundes Loch befindet. Sie geben leicht einen näselnden Ton, den man durch zwei seitwärts angebrachte Löcher beseitigen wollte, in der falschen Voraussetzung, dafs der Ton der Stimme auch durch den Nasencanal gebildet werden müsse, wovon gerade das Gegentheil statt findet. Weit angenehmer wird der Ton durch die nicht aufliegenden, sondern einschlagenden Zungen. Bei beiden können Töne nur bis zu einer gewissen Tiefe erzeugt werden, und wenn man über diese noch hinausgehn will, so müssen die Röhren, worin sich das Zungenstück befindet, verlängert werden, wie Grenié[1] aufgefunden und dadurch selbst das 8fufsige C der Orgel nachgebildet hat. Fig. 155.

62) Die bisher beschriebenen Zungen sind solche, die auf der Bahn des Röhrchens aufliegen; man hat aber auch solche, die genau in die Oeffnung des Röhrchens passen und beim Vibriren bald in dieselbe eintreten und als genau passend diese fast gänzlich verschliefsen, bald herausgebogen werden und die Luft frei eindringen lassen. In diesem Falle ist ein metallnes Parallelepipedum R oder auch ein nicht ganz Fig. 156.

1 Nach Biot Traité. II. 173.

bis zur Hälfte nach der Längenaxe weggeschnittener Cylinder am untern Ende verschlossen und hat in dem den weggeschnittenen Theil wieder bedeckenden Bleche einen rectangulären länglichen Einschnitt mit genau eben gearbeiteten Rändern, in dessen inneren Raum eine gehärtete, messingene Feder so accurat pafst, dafs die Luft gar nicht oder mindestens nur wenig neben ihr durchdringen kann. Nach Biot sind solche einschlagende Zungen hauptsächlich neuerdings durch Grenié verfertigt worden, welcher ein Patent auf die mit solchen Pfeifen versehenen Orgeln erhalten hat, man kennt sie jedoch schon länger, und wenn sie nicht schon früher bekannt waren, so sind sie durch Kratzenstein[1] im Jahre 1780 erfunden und genau beschrieben worden. Vor einigen Jahren erregten sie aber aufs neue die Aufmerksamkeit des Publicums durch ihre Anwendung zur Construction der sogenannten *Mundharmonica*, die seitdem ein gewöhnliches Spielwerk geworden ist. Sie besteht aus einer Metallplatte von etwa 0,5 bis 0,75 Lin. Dicke, in welche längliche rectangulär gestaltete Löcher eingeschnitten sind. In diese Oeffnungen, deren selten eine, öfter vier zur Bildung des harmonischen Dreiklangs, aber auch 6 oder 8 vorhanden sind, passen genau durch Hämmern gehärtete und demnach leicht vibrirende dünne Messingbleche, die am einen etwas dickeren Ende sehr fest aufgelöthet und genietet sind und mit der einen Seite der Metallplatten in eine Ebene fallen oder nur unmerklich über diese hervorragen, so dafs sie im Zustande der Ruhe die Oeffnungen völlig verschliefsen, ohne mit ihren Rändern die der Einschnitte in die Metallplatte eigentlich zu berühren. Bläst man gegen die Bleche mit aufgedrückten Lippen, oder zieht man die Luft ein, so fangen sie an zu schwingen, und es erfolgt ein so lauter vernehmlicher Ton, dafs dessen Ursache nicht in den Vibrationen des Bleches gesucht werden kann, sondern nothwendig in denen der durchströmenden Luft liegen mufs.

Die Töne dieser Pfeifen mit einschlagenden Zungen sind durch W. Weber[2] einer speciellen Untersuchung unterworfen

---

1 Acta Acad. Petrop. 1780. Journ. de Phys. T. XXI. p. 358.

2 Leges oscillationis oriundae si duo corpora diversa celeritate oscillantia ita conjunguntur, ut oscillare non possint, nisi simul et synchronice. Dissert. phys. auct. Weber Halae 1826. 4. Schon früher ist

Digitized by Google

worden. Tönt die auf der Röhre unbeweglich befestigte Zunge allein, ohne dafs sie in eine den Ton bedingende Röhre geschoben ist, auf ähnliche Weise als bei der Mundharmonica, so ist es nicht nothwendig, dafs die Zunge völlig genau in die Oeffnung der Metallplatte passe, wenn sie nur durch den Luftstrom in die ihrer Länge, Breite, Dicke und Elasticität proportionalen[1] Schwingungen versetzt wird. Hiervon hängt denn auch die Höhe des Tones ab, denn wenn man mit einer feinen Messerspitze das Ende der Zunge aufhebt und losschnellen läfst, so hört man einen leisen Ton, welcher jedoch hinsichtlich der Höhe mit demjenigen identisch ist, den man beim Durchströmen der Luft wahrnimmt. Da dieses allezeit erfolgt, so läfst sich hiernach also leicht als Regel ansehn, dafs die Tonhöhe in diesen Fällen ausschliefslich durch die Schwingungen der Zunge bedingt werde, dafs die hierdurch erzeugten Luftwellen aber, deren Längen der bereits durch die Beschaffenheit der Zunge bestimmten Tonhöhe proportional sind, blofs dazu dienen, den Ton heller und wohlklingender zu machen. Wenn man also nicht annimmt, dafs der erzeugte Ton blofs durch die Stöfse der Luft, wie bei der *Sirene*, entstehe, vielmehr Schwingungsknoten in der Luft gebildet werden, die der tönenden Luftsäule zugehören, so mufs einer derselben aufserhalb der Zunge in der freien Luft liegen. Unter der hinlänglich begründeten Voraussetzung, dafs die Töne der Sirene blofs durch die Pulsus der im Ausströmen regelmäfsig periodisch unterbrochenen Flüssigkeit entstehn, scheint mir die letztere Annahme auch aus dem Grunde die wahrscheinlichere, weil der Ton der Sirene von dem der Mundharmonica merklich verschieden ist. Eine Hauptschwierigkeit erhebt sich aber dann, wenn das Zungeninstrument mit einer Pfeife durch Einstecken in dieselbe verbunden wird, was den erzeugten Ton ungleich wohlklingender macht, dann aber die Beantwortung der Frage fordert, auf welche Weise zwei verschiedenen Gesetzen ihrer Schwingungen unterliegende, also einzeln verschiedene Tonhöhen gebende Kör-

---

hierüber gehandelt worden in Wellenlehre S. 522. Weitere Untersuchungen von demselben über diesen Gegenstand findet man in Poggendorff's Ann. XVI. 193. 415. XVII. 193.

1 Vergl. L. Euler Acta Petrop. 1779. T. I. p. 139.

Digitized by Google

per, wenn sie mit einander verbunden sind, sich gegenseitig so bedingen, dafs sie gemeinschaftlich den nämlichen Ton geben.

W. Weber[1] hat diese Aufgabe ausführlich untersucht und gestützt auf eine schätzbare Reihe von Erfahrungen eine vollständige Theorie dieser Erscheinungen aufgestellt, wovon hier nur die wesentlichsten Elemente mitzutheilen sind. Das Zungeninstrument kann auf zweifache Weise mit der Pfeife verbunden seyn, zuerst wenn die Zunge sich innerhalb und zweitens wenn sie sich aufserhalb der Röhre befindet, wie die Zeichnung dieses anschaulich macht. Die Zunge kann bei jeder dieser beiden Verbindungsarten auf zweifache Weise zum Vibriren gebracht werden, nämlich entweder indem die an ihrer Aufsenseite befindliche Luft verdichtet ist, die an ihrer Innenseite aber atmosphärische Dichtigkeit beibehält, oder indem die erstere von gewöhnlicher Dichtigkeit ist, die letztere aber verdünnt wird. Ferner können die auf solche Weise mit dem Zungeninstrumente verbundenen Pfeifen entweder am andern Ende offene oder bedeckte seyn, ein Unterschied, welcher jedoch unberücksichtigt bleiben darf, indem in der Regel offene zur Anwendung kommen und daher hier nur untersucht werden. Sind also auf irgend eine der angegebenen Arten ein Zungeninstrument und eine Röhre mit einander verbunden, so treten wieder zwei Fälle ein, nämlich dafs entweder die Töne, die durch die Vibrationen der Zunge erzeugt werden, denen gleich sind, welche die in der Pfeife eingeschlossene Luftsäule für sich schwingend geben würde, oder dafs beide verschieden sind. Der erstere Fall hat gar keine Schwierigkeiten, denn es folgt alsdann von selbst, dafs die synchronischen Schwingungen beider den ihnen zugehörigen Ton gemeinschaftlich erzeugen; im zweiten Falle aber, nämlich wenn die in dem Rohre der Pfeife eingeschlossene Luftsäule in Folge ihrer Länge einen andern Ton geben würde, als welcher den Schwingungen der Zunge zugehört, gehn aus den Versuchen folgende Gesetze rücksichtlich der Tonhöhe beider zu einer Zungenpfeife verbundener tönender Körper hervor: wenn die äufsere Luft dichter ist, als die im

Fig. 157. u. 158.

1 Aufser der genannten Dissertation in Poggendorff's Annalen XVI. 193 ff. 415 ff. XVII. 193.

Digitized by Google

Röhrchen eingeschlossene, so kann der Ton nur tiefer werden, als derjenige, welchen die vibrirende Zunge allein giebt, ist aber die äufsere Luft dünner, als die innere, so kann der gemeinschaftliche Ton nur höher werden. Hieraus folgt, was auch weiter fortgesetzte Untersuchungen bestätigen, dafs unter allen Bedingungen Isochronismus beider schwingender Körper statt finden müsse, weil sonst ein doppelter Ton entstehn würde, dafs also zunächst die Schwingungen der Luftsäule durch die Vibrationen der Zunge bedingt werden, wie aus dem Klange des einer schwingenden Luftsäule zugehörigen Tones unwidersprechlich folgt, zugleich aber die Vibrationen der Zunge durch die Länge der Luftsäule eine Modification erleiden, vermöge deren sie nicht blofs schneller, sondern auch langsamer vibriren, als sie frei schwingend thun würden. Aus den Versuchen, welche Weber anstellte, um das Verhältnifs der Tonhöhen zu den Längen der schwingenden Luftsäulen bei Zungenpfeifen aufzufinden, geht hervor, dafs für a = 0,25-mal der Länge einer Luftsäule, die für sich allein in einer an beiden Enden offenen Röhre mit einer gegebenen Zunge isochronisch schwingt, folgende Veränderungen eintreten.

1) Wenn die angesetzte Röhre allmälig bis zu a verlängert wird, so nimmt die Tiefe des erzeugten Tones nur unmerklich zu.

2) Wächst die Länge der Pfeife von a bis 2a, so wird der Ton zwar merklich tiefer, aber nicht im gleichen Verhältnisse, als die Länge der schwingenden Luftsäule erfordern würde.

3) Von 2a bis 3a wächst die Tiefe des Tones fast ebenso schnell, als die Länge der Luftsäule.

4) Von 3a bis 4a schreitet die Vermehrung der Tiefe schneller fort als die Zunahme der Länge und erreicht bei 4a genau die Octave von dem Tone, welchen die Zunge allein schwingend giebt.

5) Bei weiterer Verlängerung der Röhre springt der Ton plötzlich wieder auf den ursprünglichen zurück und wird auf eine ähnliche Weise, als in den vier angegebenen Fällen, in ungleicher Progression durch Vermehrung der Länge von 4a bis 8a nur um eine Quarte tiefer.

6) Bei zunehmender Länge springt abermals der Ton wieder auf die Höhe des ursprünglichen zurück, seine Tiefe

Digitized by Google

wächst dann wieder, und zwar gleichfalls erst langsamer, dann schneller, bis sie bei 12 a die kleine Terz erreicht hat. Bei den Vermehrungen der Längen der in den angesetzten Röhren eingeschlossenen Luftsäulen war also die Zeit einer einzelnen Schwingung für

$$4\,a,\ 8\,a,\ 12\,a,\ldots. = 1:2, = 3:4, = 5:6,$$

und würde also, wie auch fortgesetzte Versuche bestätigten, wie 7:8, 9:10, 11:12..... fortgehn. Dafs hierbei in der schwingenden Luftsäule verschiedene Schwingungsknoten gebildet werden, wonach dieselbe auf gleiche Weise als in den Labialpfeifen schwingt, möge hier nur im Allgemeinen bemerkt werden. Bei der Theorie, auf welche Weber diese sämmtlichen Erscheinungen zurückführt, liegt das Princip zum Grunde, dafs zwei Pendel, die für sich einzeln ihre Schwingungen in ungleichen Zeiten vollbringen würden, miteinander vereint in Zeiten schwingen, die zwischen den beiden, jedem einzelnen zugehörigen Zeiten in der Mitte liegen. Es versteht sich dann hiernach von selbst, dafs die beiden schwingenden Körper, die Zunge und die Luftsäule, vereint isochronisch schwingen. Die ursprünglichen oder freien Schwingungen der Zungen erfolgen nach denjenigen Gesetzen, die Euler bereits aufgefunden hat, ihre Abweichungen hiervon in den Zungenpfeifen werden durch den vermehrten Druck der Luft gegen dieselben und durch den Stofs der gleichzeitig in Schwingungen versetzten Luftsäulen auf gleiche Weise hervorgebracht, als wenn ein anderer schwingender Körper mit ihnen verbunden wäre. Die Schwingungen der Luftsäulen unterliegen im Allgemeinen dem bereits oben §. 39. nachgewiesenen Gesetze, wonach die Länge einer zwischen ihren Schwingungsknoten oscillirenden Luftsäule $= \frac{c}{n}$ ist, wenn c den Raum bezeichnet, den der Schall in 1 Sec. zurücklegt, n aber die Anzahl der Oscillationen in der nämlichen Zeit. Wird dann die Länge der schwingenden Luftsäule (der hinzugekommenen Pfeife) stufenweise vermehrt, so können die äufsersten Schwingungsknoten nicht allezeit an das Ende derselben fallen, vielmehr liegen sie tiefer im Innern der Röhre oder rücken über das Ende derselben hinaus in die freie atmosphä-

1 Acta Petrop. 1779. P. I. p. 134.

Digitized by Google

nische Luft, wenn man sich die nicht vollständige Länge der letzten schwingenden Abtheilung als vervollständigt denken will. Weber stellt hierüber die zu seiner Theorie gehörigen zwei Sätze auf:

1) Wenn die Aufsenseite der schwingenden Zunge mit einem Behälter von verdichteter Luft communicirt, so ist die Länge der in der Pfeife schwingenden Luftsäule ein Multiplum einer ganzen schwingenden Abtheilung plus einem Reste, der gröfser als Null und kleiner als eine halbe schwingende Abtheilung ist.

2) Wenn die Aufsenseite der schwingenden Zunge mit einem Behälter von verdünnter Luft communicirt, so ist die Länge der Luftsäule ein Multiplum einer ganzen schwingenden Abtheilung plus einem Reste, der gröfser als eine halbe und kleiner als eine ganze schwingende Abtheilung ist.

63) Die Zungenpfeifen im Allgemeinen, mit solchen Zungen, wie im vorletzten §. beschrieben worden sind, kommen bei verschiedenen Registern der Orgelwerke in Anwendung[1], wobei man sich auch der sogenannten einschlagenden Zungen bedient; von der verbesserten hat man neuerdings einen interessanten Gebrauch zu machen angefangen. Die Verbesserung beruht hauptsächlich auf einer genauern Bearbeitung der vibrirenden Bleche, die sehr elastisch und gleichmäfsig gestaltet, insbesondere aber so unbeweglich befestigt seyn müssen, dafs blofs ihr freier Theil ohne bedingenden Einflufs des befestigten vibrirt, wozu dann noch eine zweckmäfsige Form der mit den Zungeninstrumenten verbundenen Pfeifen kommt. Auf diese Weise hat Schultz zu Wien den an sich schon angenehmen Ton der Mundharmonica noch verbessert, die einzelnen tönenden Zungen zu einem Instrumente vereinigt, dieses mit einer Tastatur und einem Blasebalge verbunden, welcher die allen einzelnen Tönen zugehörigen Pfeifen aus einer gemeinschaftlichen Windlade anbläst, und so das *Aeolikon* oder *Aeolodikon* erhalten[2]. Der Vorzug dieses Instruments besteht

---

1 Chladni verweist zur nähern Kenntnifs der Orgelpfeifen auf die musikalische Zeitung XIII. Jahrg. Nr. 33 u. 34. XIV. Jahrg. Nr. 34 bis 36.

2 Diesem ähnlich sind Wheatstone's *Symphonium* (Quarterly Journ. of Sc. cet. New Ser. N. XIV. 398.) und sonstige im Baue verschiedene, dem Wesen nach ähnliche, verschieden benannte Instru-

Digitized by Google

darin, dafs die Töne angenehmer sind, als die gewöhnlichen der Orgeln, namentlich die der Labialpfeifen, auch haben die nach dieser Art construirten Zungenpfeifen den Vortheil, dafs der Ton nicht blofs so lange anhält, als der Spieler es wünscht, sondern dafs auch ein Steigern desselben und ein Sinken vom leisesten Piano bis zum stärksten Forte ohne sonstige Veränderung des Tones damit erreichbar ist.

Ein anderes unter diese Classe gehöriges Instrument, welches jedoch hauptsächlich als ausländisches nähere Aufmerksamkeit verdient, ist das *Scheng*. Prechtl[1] kannte dasselbe früher aus einer undeutlichen Beschreibung[2], wonach es zwei solche Instrumente, ein gröfseres mit 19 und ein kleineres mit 13 Pfeifen, geben soll, die hauptsächlich zur Begleitung des Gesanges gebraucht werden, erhielt aber später durch den Capitain Eduard Watts ein Exemplar des kleineren, wovon er eine Beschreibung mittheilt. Das chinesische *Scheng* oder *Tsing*, von welchem man in Europa den Bau der einschlagenden Zungen entnommen haben soll[3], besteht aus einer Halbkugel, aus deren nach oben gerichteter Durchschnittsfläche 13 seitwärts mit einer Oeffnung versehene Röhren von ungleicher Länge eingesenkt sind; drei derselben sind 15 Z., 4 sind 9 Z., die vier folgenden 6 Z. und die zwei kürzesten 4 Z. lang, die Oeffnung befindet sich bei allen etwa 1 Z. über der Fläche, und die Pfeifen sind so symmetrisch geordnet, dafs man die Löcher mit den Fingern bequem schliefsen kann. In die übrigens luftdicht verschlossene Halbkugel tritt von der Seite her eine Röhre ein, die mit dem Munde nicht ohne beträchtliche Anstrengung angeblasen wird, wenn das Instrument tönen soll. Jede Pfeife tönt nur dann, wenn das Seitenloch zugehalten wird, die Ursache des Tones aber ist eine im innern, zur Hälfte aufgeschnittenen Theile des Röhrchens befindliche Zunge, wonach also auch dieses Instrument

---

mente. Nicht zweckmäfsig ist dasjenige, welches aus Mechan. Magaz. in Dingler's polyt. Journale Th. XXXVI. S. 270. beschrieben wird.

1 Jahrbücher des polytechn. Instituts. Th. XIII. S. 215.

2 Aus den Mémoires concernant l'Histoire, les sciences, les arts cet. des Chinois. Par les missionaires de Pe-Kin.

3 Quarterly Journ. of Sc. Lit. and Art. New Ser. N. XIV. p. 398.

zu der Classe der Zungenpfeifen gehört, bei denen der Ton bekanntlich ausbleibt, wenn die Luft aus einer Oeffnung unterhalb des Zungeninstruments oder des sogenannten Mundstücks entweicht. Der Ton der Zunge kann durch etwas aufgeklebtes Wachs um eine volle Secunde tiefer gemacht werden, was mit den Gesetzen pendelartiger Schwingungen, wozu die Vibrationen solcher Bleche zu rechnen sind, genau übereinstimmt.

Die gemeine *Maultrommel*, zuweilen auch *Mundharmonica* genannt, deren Töne bei kunstmäfsiger Darstellung einen hohen Grad der Annehmlichkeit, für gröfsere Säle aber zu geringe Stärke haben, gehört unter diese Classe von Instrumenten. Die Töne werden zunächst durch die Vibrationen der stählernen Zunge erzeugt und dadurch klingender gemacht, dafs man die äufsern stählernen Schenkel derselben zwischen den Zähnen klemmt, doch ist die neben der schwingenden Zunge vorbeiströmende Luft, gerade wie bei den Zungenpfeifen, der eigentliche tönende Körper. Das Instrument gewinnt an Interesse dadurch, dafs die Luft nach entgegengesetzten Richtungen strömen kann, wodurch eine zwar merkliche, im Ganzen aber nicht sehr bedeutende Veränderung des Tones bewirkt wird. Zur Bildung der Töne dient hauptsächlich die in der Mundhöhle eingeschlossene Luft, und die Zunge des Spielers vermag durch Zurückziehung oder Hervorstreckung diesen tönenden Luftraum bedeutend zu verengern und zu erweitern, worauf die Möglichkeit beruht, Töne von sehr ungleicher Höhe mit der nämlichen schwingenden Zunge des Instruments hervorzubringen, die mit dem tiefsten Tone der Zunge oder dem Grundtone mathematisch genaue Intervalle bilden und also vollkommen rein sind. Wheatstone[1] hat zu zeigen gesucht, auf welche Weise durch das Zusammenfallen verhältnifsmäfsiger Schwingungen die Töne entstehn müssen, Scheibler[2] aber wählt solche Maultrommeln, deren jede einen genau stimmenden Grundton giebt, vereinigt diese auf zwei Scheiben in einem Kreise neben einander, und indem

---

1 Quarterly Journ. of Sc. cet. New Ser. N. V. 175. Schweigg. Journ. LIII. 328.

2 Der physikalische und mathematische Tonmesser. Essen 1834. 8. S. 77.

er dann jederzeit diejenige abwechselnd anwendet, die der Tonart zugehört, in welcher er spielt, so ist die erzeugte Musik allezeit vollkommen rein und blofs bei den Uebergängen aus einer Tonart in die andere, also beim Wechsel der Maultrommeln, findet die gleichschwebende Temperatur statt, wodurch das Ohr auf eine sehr angenehme Weise afficirt wird. Er nennt dieses Instrument *Aura*. Theoretisch liefse sich diese interessante Aufgabe noch weiter verfolgen.

Ueber das gröfste und wirksamste Instrument, die *Orgel*, entlehne ich einige interessante geschichtliche Thatsachen aus dem, was G. U. A. Vieth[1] mitgetheilt hat. Die erste Idee hierzu gab vermuthlich die seit den ältesten Zeiten bekannte Pan- oder Papageno-Flöte und die gemeine Sackpfeife. Schon 150 Jahre vor C. G. construirte Ctesibius seine Wasserorgel, die Vitruv[2] nur unvollkommen beschreibt. Diese alten Orgeln waren tragbar. Im Jahre 753 erhielt Pipin eine solche vom byzantinischen Kaiser Constantinus Kopronymus zum Geschenke, wodurch diese Instrumente zuerst im Abendlande bekannt wurden. Carl d. G. erhielt eine ebendorther und Ludwig der Fromme liefs 826 eine zu Aachen erbauen. Die jetzigen Windorgeln, anfangs von geringem Umfange kommen in Deutschland zuerst im 13. Jahrhundert vor, und ein Deutscher, Bernhard, Organist in Venedig, brachte 1480 das Pedal dabei an. Von dieser Zeit an sind sie vielfach verbessert und oft von ungeheurer Gröfse erbaut worden. Unter die gröfsten gehören die in der Peterskirche zu Rom von 100 Stimmen und die in der Nicolaikirche zu Hamburg von 71 Stimmen und einem 32fufsigen Principal von englischem Zinn an der Fronte; letztere hat 75000 Mark gekostet. Die von Eugen Casparini zu Görlitz gebauete Orgel hat 57 Stimmen, 3270 Pfeifen, und kostete 25000 Thaler[3].

64) Das vollkommenste Werkzeug, vermittelst dessen Töne durch secundäre Schwingungen der Luftsäule hervorgebracht werden, ist das Stimmorgan bei warmblütigen Thieren über-

---

1 Anfangsgründe der Mathem. Th. II. Abth. 1. Leipz. 1824. 8. 451.

2 De Archit. L. X. c. 13.

3 Mehr hierüber findet man in G. C. B. Busch Handbuch der Erfindungen. Art. Orgel. Vergl. Meister de antiquo hydraulo. N. Comm. Gott. 1770. T. II. p. 152.

Digitized by Google

haupt und bei den Menschen insbesondere. Wenn ich hier von den vielen ausführlichen Untersuchungen abstrahire, die von den Physiologen hierüber angestellt worden sind, und mich auf die Hauptsachen beschränke, die in physikalischer Hinsicht zunächst in Beziehung auf die menschliche Stimme Berücksichtigung verdienen, so kommt die Theorie dem Wesentlichen nach auf Folgendes zurück.

Die Stimme gehört nach Magendie und Biot[1] zur Classe der Zungenpfeifen und zwar der freischwebenden einschlagenden Zungen. Der eigentliche Sitz derselben ist der Kehlkopf, wo die Töne gebildet werden und dann sowohl durch die unterhalb befindliche Luftröhre, als auch durch die oberhalb befindlichen Theile, als die Mundhöhle, das Gaumsegel, die Zähne und Lippen, vielfache Modificationen erleiden. Behalten wir zu besserer Erläuterung die Aehnlichkeit der Pfeifen mit einschlagenden Zungen bei, so dienen die Höhlungen der Lunge als Windbehälter, aus denen die Luft durch die Exspirationsmuskeln in die Luftröhre getrieben wird. Wie bei den durch Grenié verfertigten Zungenpfeifen §. 62. die Länge des Windrohrs unter dem tönenden Apparate von Einfluſs ist, so findet das Nämliche auch bei der Stimme rücksichtlich der Luftröhre statt, die aus einzelnen knorpeligen, mit membranösen wechselnden Ringen besteht und daher einer, wiewohl geringen, Verkürzung und Verlängerung fähig ist. Der Sitz des Stimmorgans ist der Kehlkopf (*larynx*), eine länglich viereckige, von oben nach unten allmälig verengte, dicht hinter der Mundhöhle liegende und gleichsam eine Fortsetzung derselben bildende Höhle, die aus mehrern Knorpeln und diese verbindenden Bändern und aus Muskeln zusammengesetzt und mit der aus der Mundhöhle bis in die Lungen fortgehenden Schleimhaut bekleidet ist. In demselben befinden sich die *Stimmbänder* oder Stimmritzenbänder (*ligamenta vocalia seu glottidis*), zwei aus deutlichen Fasern gebildete rechtwinklige, einander parallele Membranen, die einen engen Zwischenraum, die *Stimmritze* (*glottis seu rima glottidis*), zwischen sich lassen, durch welche die Luft dringt, ehe sie zur Mundhöhle gelangt. Die Stimmritze ist ein sehr zusammengesetztes Organ, bei Männern mehr entwickelt als

1 Traité T. II. p. 190.

Digitized by Google

bei Weibern, im Ganzen sieht man aber, dafs sie nach Art zweier gegeneinander gerichteter vibrirender Blätter oder Zungen in den sogenannten Rohrwerkzeugen einen Ton zu erzeugen vermögen. Aufser andern Muskeln des Kehlkopfes befinden sich in demselben mehrere Erweiterer und Verengerer der Stimmritze, wozu auch der Schild- oder Kehldeckelmuskel gehört, welcher den Kehldeckel herabzieht und dadurch das Stimmorgan verengert.

Dafs der Kehlkopf und speciell die Stimmritze dasjenige Organ sey, wodurch die Stimme gebildet wird, ergiebt sich sehr einfach aus dem Aufhören derselben, sobald die Luftröhre unterhalb des Kehlkopfes eine Oeffnung erhält, aus welcher die Luft entweichen kann[1], oder nach Zerstörung dieser Theile, ja sogar jede krankhafte Affection derselben verändert die Stimme und hebt sie bei grofser Bedeutsamkeit ganz auf. Aufserdem liegt ein wichtiger Beweis in den Beobachtungen von Magendie, welcher bei Hunden die Vibrationen der Stimmbänder so lange wahrnahm, als die erzeugten Töne dauerten, wonach also die Art, auf welche vermittelst dieses Organs die Töne entstehn, nämlich wie bei den Rohrwerkzeugen und namentlich den Zungeninstrumenten, bei denen die Luft durch eine Zunge, wie bei der Mundharmonica, zum Vibriren gebracht wird, kaum mehr zweifelhaft zu seyn scheint. Die Vorstellung, dafs die Töne im Allgemeinen wie bei Blasinstrumenten erzeugt werden[2], gehört unter die älteren und stützt sich auf die Aehnlichkeit beider tönenden Apparate, desgleichen auf das Pfeifen mit dem Munde und auf viele Versuche, aus denen hervorging, dafs blofs die Erweiterung und Verengerung der Stimmritze eine Veränderung der Höhe und Tiefe des Tones bewirkt, nicht aber die Spannung der Stimmbänder. Andere betrachten die Stimmbänder als schwingende Membranen, deren Vibrationen denen der gespannten

---

1 Magendie kannte einen Mann, welcher eine Oeffnung in der Luftröhre unter dem Kehlkopfe hatte und daher eine Binde mit einer Klappe trug, um diese stets zu verschliefsen, damit er reden konnte. Biot Traité II. 193.

2 Hir. Fabr. ab Aquapendente opp. om. anat. et physiol. Lips. 1687. fol. Cap. IV. p. 2. K. F. S. Liskovius Theorie der Stimme. Leipz. 1814. 8.

Saiten ähnlich seyn sollten[1]. Man stützte sich hierbei auf die Aehnlichkeit der Stimmbänder mit gespannten Saiten und auf die Resultate der Versuche, nach denen die Stimme aufhörte, wenn man die Stimmbänder drückte, aber fortdauerte, wenn man sie, mit Ausnahme ihrer Ränder, vom Kehlkopfe ablöste, auch verschieden hohe Töne entstanden, wenn man sie verschieden spannte. Die beiden letzten Thatsachen beweisen gar nichts, dann auch bei den vibrirenden Zungen entsteht der Ton nur durch die Vibrationen der äufsersten Enden, wenn gleich diese aus anderweitigen leicht begreiflichen Ursachen ohne die eigenthümliche Beschaffenheit der ganzen Zungen meistens überall nicht statt finden können, auch verursacht eine Veränderung der Elasticität, Breite, Länge und Spannung der vibrirenden Blätter sogleich eine bedeutende Veränderung der Tonhöhen.

Eine nicht hinlänglich klare Einsicht in das eigentliche Verhalten schallender Körper führte in Folge der erwähnten Erscheinungen zu der Hypothese, dafs beide Ursachen gleichmäfsig zusammenwirkten, ein Mittelweg, den die Physiologie zuweilen einschlägt, die Physik aber nicht betreten darf, weil sie jederzeit den genauen Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung in scharfer Begrenzung nachweisen mufs und gegründeten Einwendungen nicht durch partielle Zugeständnisse auszuweichen suchen darf. Dodart[2] äufserte die genannte Meinung, und sie fand seitdem bei mehrern Gelehrten Beifall[3], ist jedoch mit den physikalischen Gesetzen durchaus unvereinbar. Es folgt nämlich aus den vorhergehenden Untersuchungen über die Schwingungen gespannter Saiten ganz unbedingt, dafs die Stimmbänder viel zu kurz und keineswegs hinlänglich gespannt sind, um Töne von solcher Tiefe, als die der Bafsstimmen sind, oder von einer Stärke, wie sie nicht blofs das menschliche Organ, sondern selbst das sehr kleiner Vögel zeigt, oder nur überhaupt von diesem eigenthümlichen Klange, zu erzeugen, noch dazu, wenn sie durch

---

1 A. Ferrein in Mém. de Par. 1741. p. 409., wo die ältere Literatur sehr vollständig mitgetheilt ist. Portal Mém. T. II. p. 308. Der nämlichen Meinung war auch Haller.

2 Mém. de Paris. 1700. 1706 u. 1707.

3 Meckel Handbuch der menschl. Anatomie. Th. IV. S. 401.

einen so weichen Körper, als die Luft ist, in Schwingungen versetzt werden. Auf gleiche Weise unmöglich ist es, das Organ der Stimme streng auf die sogenannten Labialpfeifen zurückzuführen, denn diese erfordern für den tiefsten Ton einer Bafsstimme eine achtfufsige Pfeife, und wollte man auch die tiefen Töne bauchiger Medicingläser zu Hülfe nehmen, so ist doch eine so grofse Höhlung, als zu den tiefsten Tönen erforderlich seyn würde, bei Menschen auf keine Weise aufzufinden. Hiernach scheinen also die einschlagenden Zungen, wie die §. 64. beschriebenen, die Functionen des Stimmorgans am besten zu erklären, mit denen namentlich Grenié durch nicht eben bedeutende Verlängerung des unterhalb des Zungeninstruments befindlichen Rohrs die tiefsten Töne zu erzeugen vermochte und die noch obendrein der menschlichen Stimme durch eine oberhalb befindliche Höhlung sehr nahe ähnlich gemacht werden.

Obgleich man dieses als ausgemacht betrachten kann, so bleibt dennoch das Stimmorgan im höchsten Grade merkwürdig, theils wegen des Klanges der erzeugten Töne, theils wegen des Umfanges der Scale mancher Stimmen mit Rücksicht auf die geringen Veränderungen, deren dieser Apparat fähig ist. Der Wohlklang des Tones beruht nach der angegebenen Hypothese auf der Gleichmäfsigkeit der Stimmbänder und der Thätigkeit der zu ihrer Spannung dienenden Muskeln, der Umfang der Stimme aber auf den Grenzen der Erweiterung und Verengerung der Stimmritze, desgleichen auf dem Unterschiede der Gröfse des vibrirenden Theiles der Stimmbänder. Magendie bemerkte nämlich bei Hunden, dafs bei tiefen Tönen die Stimmbänder in ihrer ganzen Länge vibrirten, bei wachsender Höhe aber sich mehr näherten und zunehmend weiter an einander schlossen, so dafs zuletzt nur eine kleine Oeffnung und ein geringer schwingender Theil übrig blieb. Aufser dieser verschiedenen Weite der Stimmritze wird die Höhe und Tiefe der Töne wo nicht erzeugt, doch befördert durch die Bewegungen des Kehlkopfes, welcher bei hohen Tönen in die Höhe gezogen wird, um den Schildknorpel vom Ringknorpel zu entfernen, dadurch die Stimmritze zu verengern und ihre Bänder zu spannen, welches wirksamer ist, als die gleichzeitige Verlängerung und Verengung der Luftröhre. Bei tiefen Tönen findet das Gegen-

Digitized by Google

theil statt. Dem Kehldeckel (*epiglottis*) spricht Haller[1] allen Einfluſs ab, weil die Töne vollkommen gebildet aus der Stimmritze kommen sollen und auch die Vögel ohne dieses Organ singen; zugleich werden die Töne rücksichtlich ihrer Höhe durch Einschnitte in den Kehldeckel und durch Aufnehn oder Wegnehmen desselben nicht geändert; allein Meckel[2] zeigt aus andern Versuchen, daſs die Höhe und Tiefe der Töne allerdings durch das Herabgehn der Epiglottis in den Raum über dem Kehlkopfe und durch das Anspannen ihrer Muskeln bedingt wird, auch hat Grenié durch ein ihr nachgebildetes Stückchen Papier eine Modification der Töne bei seinen Zungenpfeifen hervorgebracht. Bennati[3] führt noch einen besondern Grund für den Einfluſs des Zäpfchens an, den auch Granville durch seine Beobachtungen unterstützt, wonach Baſssänger ein dickes Zäpfchen, Sopranisten dagegen stets ein sehr kleines, spitzes und bewegliches haben sollen[4]. Kratzenstein[5] ist gleichfalls der Meinung, daſs die durch die Stimmritze erzeugten Töne durch den Kehldeckel, die Wölbung des Gaumens, die Zähne und auch die Lippen bedeutend modificirt werden. Den bedeutendsten Einfluſs, wenn auch nicht auf die Bildung und Höhe der Töne, doch auf den Klang derselben, hat sicher die Mundhöhle, und mehrere theils erwähnte, theils noch namhaft zu machende Erscheinungen beweisen die merkwürdigen Veränderungen, welche die in Höhlungen eingeschlossenen Luftmassen rücksichtlich der in ihnen gebildeten Schallwellen erleiden. Die eigenthümliche Gestaltung und Gröſse dieser Höhlungen, ihre Begrenzung durch die Zähne, die Form und Beschaffenheit der Zähne und Lippen, tragen viel dazu bei, den angenehmen Klang der Stimme zu erhöhen; die Oeffnungen aber, welche in die Nasencanäle führen, werden durch das Gaumsegel verschlossen, und wenn dieses nicht statt findet, so verbreitet

---

1 Elem. Physiol. C. IX. S. III. 59.

2 A. a. O.

3 Annales des Sciences naturelles. XXIII. 82.

4 Omodei Annali universali di medicina. 1830. Jun. Daraus in Julius und Gerson Magazin d. ausländ. Literatur d. gesammten Heilkunde. 1831. Jul. u. Aug.

5 C. Th. Kratzenstein Tentamen resolvendi problema ab Acad. Sci. Imp. Pet. ad annum 1740 propos. Petrop. 4.

sich der Schall auf diesem Wege, erleidet einen Abbruch seines in der Mundhöhle erhaltenen Klanges und wird näselnd.

Diese Theorie hat allerdings inneren Zusammenhang und findet in den Versuchen von Grenié, wonach solche Pfeifen, die in ihrem Baue grofse Aehnlichkeit mit dem menschlichen Sprachorgane haben, die Töne des Gesanges ziemlich genau nachbilden, eine bedeutende Unterstützung, weswegen ich dieselbe auch in nöthiger Vollständigkeit aufzunehmen und voranzustellen für gut fand. Entscheidende Gründe, die dieselbe vollständig zu widerlegen vermöchten, giebt es zwar nicht, wohl aber sind auch andere Hypothesen aufgestellt worden, die auf gleiche oder selbst gröfsere Angemessenheit Anspriiche machen. Liskovius[1] gesteht zu, dafs die Stimmbänder beim Singen zittern, allein er betrachtet dieses nicht als Ursache, sondern als Folge des Tönens, wovon er den Grund im Durchströmen der Luft durch die Stimmritze und hierdurch bedingten Schwingungen derselben findet. Auch beim sonstigen Durchströmen der Luft durch enge Oeffnungen entstehn nach seiner Ansicht Töne, deren Höhe mit der Verengerung der Oeffnung wächst; bei der menschlichen Stimme findet dann das Nämliche und zwar auf gleiche Weise als beim Flöten mit dem Munde statt. Zur Unterstützung dieser Ansicht dienten folgende wesentlichste Resultate von Versuchen. Blofs die untern Kehlbänder (die Stimmbänder) gaben einen Ton, ohne Zuthun der obern, durch die sich zwar gleichfalls Töne hervorbringen liefsen, allein bei lebenden Menschen ist dieses unstatthaft, da sie sich stets mit den untern parallel bewegen und daher stets in so grofsem Abstande von einander bleiben. Stärkere Spannung der Kehlbänder machte den Ton tiefer, weil dadurch gleichzeitig die Stimmritze erweitert wurde. Die Berührung der Stimmbänder mit dem Finger hinderte die Entstehung des Tones nicht, wohl aber ihre Trockenheit; die Gröfse der Oeffnung zwischen den Stimmbändern bedingte die Höhe so sehr, dafs die Töne selbst dann höher wurden, wenn Liskovius die Finger über beide Enden der Stimmritze ohne Berührung und bei unveränderter Gröfse derselben hielt. Blofse Verstärkung des Luftstroms machte den Ton bis zu einer Quinte höher, zugleich aber scharf; ferner glichen die Töne

1 A. a. O.

dann denen der sogenannten Bruststimme, so lange die Stimmbänder sich näherten und selbst hinten schlossen, vorn aber eine kleine Oeffnung liefsen; wurden sie aber zugleich gespannt, so erfolgten bei zunehmender Verengerung der Stimmritze die sogenannten *Falset* (Fistel)-Töne, bis zum gänzlichen Schliefsen. Bei den Tönen der Bruststimme geriethen die Stimmbänder in starke Bebung, die sich der ganzen Luftröhre mittheilte, aber bei den Falset-Tönen nicht allmälig, sondern plötzlich aufhörte.

Liskovius suchte hauptsächlich die ältere Hypothese zu widerlegen, wonach die Stimmbänder als schwingende Saiten betrachtet wurden, was einen so grofsen Aufwand gar nicht verdiente, er kam daher zu dem allerdings richtigen Resultate, dafs die Töne der Stimme durch Luftschwingungen hervorgebracht würden, liefs aber dabei die Hauptfrage unerörtert, zu welcher der verschiedenen Arten von Luftschwingungen diese gehören. Dennoch ist einer der angegebenen Versuche geeignet, diese Frage der Entscheidung näher zu bringen. Wenn nämlich das Tönen der Stimme wirklich fortdauert, ungeachtet beide Stimmbänder mit den Fingern berührt werden, so kann dieses Organ nicht zu den Rohrwerkzeugen und namentlich nicht zu den einschlagenden Zungen gezählt werden. Ein unterstützendes Argument geht auch aus dem Resultate hervor, dafs die Töne bei stärkerer Spannung der Bänder tiefer wurden, da sie vielmehr der gleichzeitig erweiterten Stimmritze ungeachtet höher werden mufsten.

Savart[1] erklärt sich als Gegner der aufgestellten Theorie, wonach das Organ der menschlichen Stimme zu den Rohrwerkzeugen, namentlich den Zungenwerken gehören soll, ohne jedoch dieselbe durch ein bestimmtes und zugleich genügendes Argument zu widerlegen, vielmehr stellt er eine andere Erklärungsart auf, die er den Erscheinungen angemessener findet. Hiernach vergleicht er das Organ der Stimme mit einer kleinen Pfeife, einem kleinen, hohlen, mit einer Ritze versehenen Instrumente, dessen sich die Jäger bedienen, um die Stimmen der Vögel nachzumachen. Dieses versah er an beiden Seiten mit einer Röhre und erhielt hiernach eine Vorrichtung, welche seitwärts

---

1 Ann. Chim. et Phys. XXX. 64. Edinb. Journ. of Science. N. VIII. p. 200. Vergl. Magendie Journ. de Physiol. T. V. p. 367.

angeblasen im Tone einige Aehnlichkeit mit der menschlichen Stimme darbot. Zur Erklärung des grofsen Umfanges der erzeugten Töne nimmt er seine Zuflucht zu den Wirkungen konischer Pfeifen, durch welche allerdings tiefere Töne erzeugt werden können, als die ihrer absoluten Länge proportional sind. In der gegebenen Darstellung liegt allerdings viel Wahres, jedoch scheint mir hierdurch das Problem nicht im ganzen Umfange und hauptsächlich nicht mit der erforderlichen klaren Evidenz gelöst zu seyn.

Mayer[1] sucht mit grofsem Selbstvertrauen die durch Liskovius aufgestellte Theorie im Ganzen und im Einzelnen zu widerlegen und stellt dieser dann eine ihm eigenthümliche neue, alle einzelne Modificationen der Tonerzeugung berücksichtigende, entgegen, in welcher die Meinungen von Dodart und Ferrein vereinigt werden sollen. Die Entstehung der Töne wird diesemnach von den Schwingungen der nach Art gespannter Saiten vibrirenden Stimmbänder abgeleitet, zugleich aber wird „das Stimmorgan der Menschen und Säugethiere „eine wegen der Weichheit ihrer Wandungen nur unmerk„lich selbstschwingende *Blasröhre*" genannt, „in deren Ca„nal dem Ende oder Ausgange näher zwei verschiedener „Spannung fähige Mundstücke (die Stimmritze und die Ritze „der Gaumbogen) angelagert sind, wovon das erstere als der „eigentliche Sitz der Stimmerzeugung anzusehn ist, das zweite „aber den erzeugten Ton nur modificirt." Inzwischen hat Liskovius[2] diese ganze Hypothese bereits genügend widerlegt, deren Unzulässigkeit schon daraus hervorgeht, dafs in akustischer Beziehung, worum es sich hier allein handelt, eine *Blasröhre* an sich sowohl als deren Mundstücke ohne nähere Bezeichnung durchaus unbekannte Dinge sind und also diese Ausdrücke ohne genauere Angabe ihres eigenthümlichen Baues und ohne Nachweisung des ätiologischen Zusammenhanges zwischen dem genannten Instrumente und seinen speciellen Wirkungen gar nichts sagen, mithin auch auf keine Weise als eine Lösung des vorliegenden Problems zu betrachten sind.

---

1 Abhandlung über die Function der Epiglottis. Bern 1814. Salzburgische med. chir. Zeitung 1814. N. 62. S. hauptsächlich J. F. Meckel Archiv für Anatomie und Physiologie. 1826. S. 188.

2 Meckel's Archiv 1827. S. 177.

Es ist sonach überflüssig, hier in die genannte Darstellung tiefer einzugehn, jedoch scheinen mir zwei Puncte auch in der gründlichen Widerlegung von Liskovius nicht genug gewürdigt zu seyn. Zuerst wird der Versuch, wonach die Töne der Stimme auch dann entstehn, wenn man die Stimmbänder berührt, nicht nach seiner Wichtigkeit und grofsen Beweiskraft hervorgehoben, zweitens aber gestehn beide dem Wesen nach gemeinschaftlich zu, dafs auf gleiche Weise beim Ausströmen und Einströmen der Luft durch den Larynx Töne erzeugt würden, im letztern Falle jedoch etwas höher. Allerdings entstehn Töne auch beim Einströmen der Luft, allein dafs irgend ein Sänger auf diese Weise einen eigentlich angenehmen und dem gewöhnlichen ähnlichen Gesang hervorzubringen vermocht habe, streitet gegen die Erfahrung, vielmehr lassen sich nur wenige Töne durch dieses Mittel erzeugen, sie unterscheiden sich aber so wesentlich von den eigentlichen schönen Tönen des Gesanges und erfordern eine so aufserordentliche Anstregung zu ihrer Hervorbringung, dafs dieser Umstand bei der Erklärung des ganzen Phänomens nicht übersehn werden darf.

Die Physiker und Physiologen pflichten der einen oder der andern beider erwähnten Hypothesen bei, wonach die Töne der Stimme entweder durch die Vibrationen der Stimmbänder, nach Art der durch schwingende Saiten erzeugten, gebildet werden, oder dafs der Kehlkopf einem Blasinstrumente gleicht, und es scheint mir überflüssig, diese Autoritäten insgesammt namhaft anzuführen. Das neueste Werk über dieses Problem, von Bennati[1], entscheidet über das eigentliche Wesen der Sache gar nicht, behandelt dagegen ausführlich den Einflufs, welchen die einzelnen Theile des Stimmorgans auf die Eigenthümlichkeit der Stimme beim Sprechen sowohl als auch beim Singen haben, ein specieller Theil der gesammten Aufgabe, auf welchen ich tiefer einzugehn für unnöthig halte. Auch Bell[2] hat den Gegenstand in anatomischer, physiologischer und akustischer Hinsicht behandelt, dabei auch auf die Modificationen Rücksicht genommen, die zur Hervorbringung der eigenthümlichen Laute erforderlich sind.

---

1 Annales des Sciences naturelles. 1831. Mai.
2 Phil. Trans. 1832. p. 299.

Digitized by Google

Handelt es sich aber um eine definitive Entscheidung der eigentlichen Frage, so ist wohl ohne Bedenken mit Biot anzunehmen, dafs die Stimmbänder auf keine Weise als schwingende Saiten zu betrachten sind, und es bleibt daher blofs noch die zweite Hypothese als allein zulässig übrig, wonach das Organ des Kehlkopfes als ein Blasinstrument wirkt. Hierbei tritt aber die sehr schwierige Frage ein, zu welcher Classe von Instrumenten dasselbe zu rechnen sey. Zu den Labialpfeifen und Flötenwerken kann dasselbe nicht gehören, weil nach der gleichfalls richtigen Darstellung von Biot diese ihrer Natur nach weit längere Pfeifen und eine weit längere schwingende Luftsäule erfordern, als der menschliche Stimmapparat darbietet. Unter den künstlichen Apparaten, in denen eine schwingende Luftsäule den Ton erzeugt, bleibt also keine andere übrig, als die Rohrwerkzeuge und namentlich die vibrirenden Bleche, die ihren Schwingungen ähnliche Vibrationen in einer durch eine feine Oeffnung strömenden Luftmasse erzeugen, wonach man also das Stimmorgan zu dieser Classe rechnen und die Bänder der Stimmritze als eigentliches Mittel der Tonerzeugung betrachten könnte. Allein auch dieser Hypothese stehn bedeutende, noch keineswegs hinlänglich beseitigte Einwürfe entgegen. Zuerst zeigen sich die Stimmbänder keineswegs auf eine solche Weise elastisch, als die einschlagenden Zungen seyn müssen, wenn sie die hohen Töne der Sopranstimmen geben sollen. Zweitens zeigt die Verengerung der Stimmritze auf die Höhe des erzeugten Tones einen weit stärkern Einflufs, als dieses bei den einschlagenden Zungen, der Mundharmonica, den Rohren der Blasinstrumente und andern Apparaten der Fall ist, wenn man auch die Umstände übersehn wollte, dafs keinem derselben ein so leichter Uebergang von einem Tone zum andern durch die kleinsten Intervalle und zugleich in einem so bedeutenden Umfange eigen ist, als der menschlichen Stimme, indem namentlich auf der Maultrommel, aller günstigen Bedingungen ungeachtet, keineswegs alle Töne der chromatischen Tonleiter hervorgebracht werden können. Ist aber endlich der Versuch von Liskovius richtig, dafs auch dann noch Töne erzeugt werden, wenn man beide Stimmbänder berührt, so müfste auch dieses als ein gewichtiges Argument gegen die Hypothese gelten, wonach man die Stimmbänder den vibrirenden Zungen

Digitized by Google

gleich stellt. Bei Hoboën, Clarinetten und Fagotten wird zwar der Ton durch die Berührung der Rohrflächen mit den Lippen gleichfalls nicht aufgehoben, allein diese Instrumente haben zugleich eine Röhre, in denen die eingeschlossene Luftsäule, die noch obendrein durch die Löcher verkürzt und verlängert werden kann, durch den feinen, gegen sie stofsenden Luftstrom, der durch die Rohröffnung dringt, in Schwingungen versetzt wird, und ihr Bau ist daher weit mehr zusammengesetzt, als der des Stimmorgans. Endlich aber sind die Lippen, welche die Flächen der schwingenden Blätter bei den genannten Instrumenten berühren, ungleich elastischer, als die Finger, die Liskovius auf die Stimmbänder legte, und keines jener Blätter vermag einen Ton zu geben, wenn es oben am Rande berührt wird, wogegen die Stimmbänder ohne Zweifel nahe am Rande berührt wurden.

Die Kunst vermag also kein Instrument darzustellen, dessen Wirkungen denen des menschlichen Stimmorgans vollkommen gleichen, alle bieten zur Erklärung nur Aehnlichkeiten dar. Die Natur selbst aber zeigt uns in den Lippen noch eine zweite Vorrichtung ähnlicher Art, vermittelst deren bei einer veränderlichen Oeffnung durch hindurchströmende Luft Töne von ungleicher, in den feinsten Intervallen wechselnder Höhe und von bedeutendem Umfange hervorgebracht werden, deren Klang bei einiger unverkennbaren Aehnlichkeit sich allerdings sehr verschieden zeigt, was aber aus dem Mangel desjenigen Apparates, der im Kehldeckel, der Mundhöhle, den Zähnen, Lippen u. s. w. mit der Stimmritze verbunden ist, sehr leicht erklärbar wird. Es fragt sich aber, auf welche eigenthümliche Weise vermittelst dieses Apparats die Töne erzeugt werden, die sich leichter beantworten läfst, weil wir denselben genauer zu beobachten vermögen. Die Töne des *Pfeifens mit dem Munde* werden erzeugt, indem man eine Oeffnung zwischen den Lippen bildet, die bei höheren Tönen enger, bei tieferen weiter ist; der Ton entsteht dabei sowohl durch Ausstofsen als auch durch Einziehn der Luft und ist, wie bei der Stimme, im letztern Falle meistens etwas höher. Ob die Lippenränder hierbei vibriren und durch ihre Schwingungen die durchströmende Luft zum Tönen bringen, ist schwer zu entscheiden. Als Resultat von Versuchen geht hervor, dafs der Ton zwar nicht ganz ausbleibt, aber schwerer

Digitized by Google

erzeugt wird, wenn die Lippen trocken sind, weswegen man sie vorher mit der Zunge zu befeuchten pflegt. Dieser Umstand, und noch mehr ein anderer, nämlich dafs der Ton sicher ausbleibt, wenn man ein auch noch so kurzes und dünnes Röhrchen von beliebiger Weite zwischen die Lippenöffnung schiebt, entscheidet für das Vibriren der Lippenränder, dagegen aber streitet die Erfahrung, dafs man beide Flächen der Lippen ohne Aufhebung des Tones gleichzeitig mit einem dünnen Drahte berühren kann, jedoch hört der Ton auf, wenn man statt dessen ein über eine Linie breites Blech über beide Lippenflächen hält, auch dann, wenn diese Bleche am äufsersten Rande der Lippen das eine hinauf, das andere herab gebogen sind, um den freien Luftstrom nicht zu hindern. Dieser Versuch führt zu einem interessanten Resultate. Wird die Fläche der einen Lippe mit einem solchen Bleche berührt, so gewahrt man deutlich durch das Gehör, dafs der berührte Theil der Lippe zur Tonerzeugung nichts weiter beiträgt, und auf gleiche Weise kann man zunehmend gröfsere Theile einer oder beider Lippen bedecken, um die Ueberzeugung zu erlangen, dafs die bedeckten Theile zur Erzeugung der Töne, die fühlbar durch die unbedeckten entstehn, nichts beitragen. Klebt man über die eine Lippe ein Stück Amnium-Häutchen, welches sich so genau über die Oberfläche der benetzten Lippe ausbreitet, dafs man kaum eine Veränderung der letztern wahrzunehmen vermag, so wird dadurch das Pfeifen erschwert, aber nicht aufgehoben, überklebt man aber auf diese Weise beide Lippen, so bleibt der Ton ganz aus, indem das übrigbleibende Geräusch nicht als eigentlicher Ton betrachtet werden kann. Dieses Resultat würde entscheidend seyn, stände ihm nicht der Einwurf entgegen, dafs das Pfeifen mit dem Munde auf gewisse Weise erlernt werden mufs und daher das Ausbleiben des Tones als Folge der Ungewohnheit betrachtet werden könnte; inzwischen lege ich hierauf nicht so grofses Gewicht, denn wenn man den Versuch selbst anstellt, so zeigt ein deutliches Gefühl, dafs die Bildung des Tons durch den feinen Ueberzug der Lippen gehindert wird, selbst auch nach der Befeuchtung durch die Zunge.

Diesemnach glaube ich also, dafs die Töne des Pfeifens mit dem Munde und die der Stimme einer und derselben Classe zugehören und beide durch die Schwingungen der Luft

Digitized by Google

entstehn, die durch eine enge, mit feinen, zarten und feucht erhaltenen Häuten ausgekleidete Oeffnung strömt. Die Ränder oder Oberflächen der Oeffnung gerathen hierbei allerdings in Schwingungen, die ich denen vergleichen möchte, in welche eine mit dem Violinbogen sanft gestrichene Saite an der durch die Haare des Bogens berührten Stelle versetzt wird. Aus diesem Grunde ist die Bedingung erklärlich, dafs die Häute nicht blofs fein, sondern auch feucht seyn müssen, wenn überhaupt ein Ton und insbesondere ein wohlklingender entstehn soll. Ich habe ferner bemerkt, dafs diejenigen Lippen zum Pfeifen am meisten geeignet sind, die beim Spitzen des Mundes zu diesem Zwecke gegen einander gerichtete, konisch zugespitzte Hervorragungen bilden, die einige Aehnlichkeit mit der Stimmritze haben. Den Ton des Flötens begünstigt dann ferner die Dicke der Lippen, zwischen denen von der Oeffnung aus sich eine Höhlung bildet, welche als das untere offene Ende einer konischen Pfeife anzusehn ist, die zur Erzeugung der Töne mit beiträgt. Die Tonhöhe beim Pfeifen wird hauptsächlich durch die verschiedene Gestaltung der Mundhöhle vermittelst der Zunge bedingt, wobei eine Verengerung und gleichzeitige Verlängerung auf gleiche Weise wie beim Singen der gröfsern Höhe zugehört. Darf also die menschliche Stimme im Allgemeinen mit der Tonerzeugung beim Flöten mit dem Munde verglichen werden, so ist es leicht, die Eigenthümlichkeiten beim Reden und Singen aus der Mitwirkung der verschiedenen Höhlungen und Häute des Stimmorgans abzuleiten.

Der Umfang der menschlichen Stimme, welcher von der Nachgiebigkeit des Kehlkopfes und der übrigen Theile abhängt, geht in reinen und klaren Tönen selten über zwei Octaven hinaus. Man rechnet die *Bafsstimmen* von E bis a, *Baryton* von A bis $\overline{f}$, *Tenor* von c bis $\overline{a}$, *Alt* von f bis $\overline{\overline{f}}$, *Mezzo Soprano* von $\overline{e}$ bis $\overline{\overline{a}}$, *Soprano* von $\overline{c}$ bis $\overline{\overline{\overline{c}}}$. Dieses sind die Forderungen der Orchester; seit Mozart verlangt man aber für Sopran von $\overline{c}$ bis $\overline{\overline{\overline{f}}}$, die meisten vorzüglichen Stimmen aber zeichnen sich durch einen gröfsern Umfang aus. Derselbe ist jedoch schon dann selten, wenn er zwei volle Octaven vollständig umfafst, indefs giebt es Sängerinnen, deren

Stimme sogar drei Octaven begreift; am ausgezeichnetsten und physiologisch merkwürdig war die jüngste Schwester unter den bekannten Sessi's, deren nicht liebliche, mehr scharfe, aber reine und klare Stimme 3 Octaven und 3 Töne umfafste und von c bis $\overline{\overline{\text{f}}}$ reichte. Als Gegensatz darf wohl der ältere Berliner Fischer, der Vater der später berühmt gewordenen Sänger, erwähnt werden, dessen überraschend wohlklingende Bafsstimme bis $\underline{\text{F}}$ ging. Die Stimmbänder der Knaben sind klein und fein, wie die der Damen, und bleiben so, wenn ihre Entwickelung durch Entmannung gehindert wird, wachsen aber in späteren Jahren bis zur doppelten Gröfse und Stärke, so dafs sie zur Erzeugung der Bafstöne fähig werden[1]. In diese Uebergangsperiode fällt das sogenannte Brechen der Stimme, welches bei einigen Personen insofern fortdauert, als ihre Stimme regellos von bedeutender Höhe zur Tiefe und umgekehrt überspringt[2]. Die Stimmritze gestattet im gewöhnlichen Zustande der Luft den freien Durchgang, krampfhafte Verengerung erzeugt den Ton des Hustens und im krankhaften Zustande den eigenthümlichen Ton beim Croup und Keuchhusten, das Schluchzen u. s. w., auch kann man durch einen unangenehmen und leicht gefährlichen äufsern Druck des untern Theiles des Kehlkopfes das Grunzen eines Schweines nachahmen.

Es läfst sich hieran leicht eine kurze Andeutung der Art knüpfen, auf welche die Stimmen der Thiere entstehn. Sie finden sich blofs bei den Mammiferen, den Vögeln und einigen Reptilien und werden auf gleiche Weise, wie bei den Menschen, durch Stimmbänder erzeugt, die gleichfalls den Zungenwerken oder genauer dem Organe der menschlichen Stimme vergleichbar sind. Bei den Mammiferen insgesammt liegt der tönende Apparat am Ausgange der Luftröhre (*trachea*), ist aber bei weitem nicht so fein und so gut ausgebildet, als bei den Menschen, weswegen ihre Stimme, aufserdem durch keine Mittel der Kunst unterstützt, einen gleichen Grad der

---

1 S. Dupuytren in Voigt's Mag. Th. VIII. N. 1. S. 57.

2 Sömmerring vom Baue des menschl. Körpers. V. Abth. 2. Dessen Abbildung d. menschl. Geschmacks- und Sprach-Organe. Frankf. 1805.

Digitized by Google

Vollkommenheit zu erlangen nicht geeignet ist[1]. Bei den Vögeln, namentlich den Singvögeln, hat der Bau der Luftröhre einen entschiedenen Einfluſs auf die Art der Töne. Am merkwürdigsten im Allgemeinen ist, daſs sich das Stimmorgan am untern Theile der Luftröhre befindet, weswegen ein Einschnitt in die letztere die Erzeugung der Töne nicht hindert. Aufserdem ist die Luftröhre bei ihnen weit mehr zusammenziehbar, als bei den Mammiferen, und kann sich aufserdem am obern Theile mehr zusammenziehn und erweitern, durch welche beide Eigenthümlichkeiten vielfache Modificationen der Töne möglich werden, obgleich ihre eigentliche Erzeugung durch die Stimmritze geschieht. Manche Vögel haben aufserdem einen nach oben sich trompetenförmig erweiternden Larynx, wodurch ihre Stimme klingender wird, bei andern ist derselbe an einigen Stellen bauchig erweitert, was gleichfalls bestimmte Modificationen der Töne herbeiführt, auch finden noch sonstige Eigenthümlichkeiten statt, deren vollständige Erörterung hier zu weit führen würde[2].

Auf den Mechanismus der menschlichen *Sprache* rücksichtlich der Erzeugung der einzelnen Buchstaben mich einzulassen scheint mir hier nicht geeignet, obgleich dieser Gegenstand im Ganzen gleichfalls zur Akustik gehört[3]. Die erforderlichen Töne werden dabei auf ähnliche Weise, wie beim Gesange, durch die Stimmritze erzeugt, die Eigenthümlichkeit der zur Wortbildung gehörigen vorherrschenden Selbstlauter und Mitlauter aber durch die verschiedenen Theile der Sprachorgane, der Zähne, des Gaumens, der Lippen und Zunge, nicht ohne Mitwirkung des Nasencanals, bedingt. Der Proceſs ist im Ganzen ein sehr zusammengesetzter und durch künstliche Mechanismen keineswegs im gleichen Grade nachbildbar, als dieses bei der Gesangstimme der Fall ist, und v. Kempelen's[4] *Sprachmaschine* giebt bei einiger Nachhülfe mit der Hand kaum den menschlichen entfernt ähnliche Laute. Neuerdings hat vorzüglich Robert Willis[5] sich bemüht, im

1 Cuvier Leçons d'Anatomie comparée. T. IV.

2 Cuvier in Journ. de Phys. T. L. p. 426. Savart in Ann. Ch. Phys. T. XXXII. p. 5. 113.

3 Vergl. Chladni in G. LXXVI. 187.

4 Vergl. *Automat.* Bd. I. S. 655.

5 Trans. of the Camb. Phil. Soc. T. III. p. 231. Daraus in Poggendorff's Ann. XXIV. 397.

Wesentlichen auf die durch Kratzenstein angegebene Weise die Töne der menschlichen Stimme und selbst die Unterschiede der Selbst- und Mitlauter vermittelst der Zungenpfeifen nachzubilden.

II. Fortpflanzung des Schalles.

65) In der Regel steht der schallende Körper nicht unmittelbar mit dem wahrnehmenden Ohre in Verbindung, sondern durchläuft ein zwischenliegendes Mittel, bis er zu den Gehörnerven gelangt. Den Durchgang des Schalles durch diese Medien, mag nun ein einziges homogenes oder mögen deren verschiedene neben einander liegende und abwechselnde vorhanden seyn, nennt man dessen Fortpflanzung und untersucht die Gesetze, wonach diese vor sich geht. Der Schall besteht aber aus Wellen, aus pendelartigen Schwingungen elastischer Körper, ist also keine selbstständige Potenz (kein *ens sui generis*), sondern nur die Wirkung gewisser eigenthümlicher Bewegungen wägbarer Körper, erfordert also auch deren Vorhandenseyn, wenn eine Fortpflanzung statt finden soll, und kann daher der Natur der Sache nach durch den leeren Raum nicht fortgeleitet werden. Die Nothwendigkeit dieser Folgerung leuchtet deutlich ein und die Sache bedarf also eigentlich keines weiteren Beweises; dennoch aber ist es üblich, diese Wahrheit durch einen eigenen Versuch darzuthun. Zu diesem Ende setzt man einen Wecker, den man unmöglich in ein absolutes Vacuum ohne Berührung irgend eines Körpers bringen kann, auf eine durch Baumwolle oder Wolle weiche Unterlage auf den Teller einer Luftpumpe, stürzt eine Campane darüber und exantlirt, worauf sich dann zeigt, dafs der Schall auswärts gar nicht oder nur äufserst schwach gehört wird, beim Zutritte der Luft aber verstärkt wieder zum Vorschein kommt. Die Wecker sind meistens so eingerichtet, dafs ein luftdicht in der Fassung der Campane beweglicher, zuweilen auch mit einem Hebelarme versehener Draht das Uhrwerk, wodurch der Hammer getrieben wird, um gegen eine Glocke zu schlagen, fortgehn läfst oder aufhält. Apparate dieser Art können auf sehr verschiedene Weise eingerichtet werden, ihr Mechanismus ist aber so einfach und leicht, dafs es mir überflüssig scheint, eine nähere Beschreibung irgend einer Vorrichtung dieser Art mitzutheilen.

Digitized by Google

Weil der Schall bei weitem in den meisten Fällen durch die Luft fortgepflanzt wird, so herrschte ehemals im Allgemeinen die Ansicht, dafs die Luft der einzige zur Erzeugung und Fortpflanzung des Schalles geeignete Körper sey[1], und man suchte dann die Frage zu beantworten, ob auch sonstige tropfbar flüssige und feste Körper denselben zu leiten vermöchten. Neuere Untersuchungen haben nicht blofs die Möglichkeit hiervon dargethan, sondern auch zur genauern Kenntnifs der Gesetze geleitet, nach denen diese Fortpflanzung bei den verschiedensten Körpern erfolgt.

A. Fortpflanzung durch atmosphärische Luft.

a) Versuche über Schallfortpflanzung durch atmosphärische Luft.

66) Man hat schon frühe die Frage zu beantworten gesucht, mit welcher Geschwindigkeit der Schall eine gegebene Entfernung durchläuft, denn dafs hierzu eine gewisse Zeit erfordert werde, davon überzeugte man sich bald durch solche Erscheinungen, bei denen die erzeugende Ursache des Schalles in beträchtlicher Weite gesehn und dann erst später der Schall gehört wurde; die aus den Versuchen und Beobachtungen erhaltenen Resultate waren aber unsicher und sehr abweichend, weil es dabei gänzlich an Genauigkeit fehlte. Man beobachtete allezeit einen stark schallenden Körper aus bedeutender, ziemlich genau gemessener Entfernung, betrachtete die Zeit des Durchlaufens des Lichts durch diesen Raum als verschwindend klein und mafs diejenige, welche bis zur Ankunft des Schalles am Ohre verstrich, wobei die letztere Gröfse, nämlich die Zeit, allzu unvollkommen gemessen wurde. Zugleich beachtete man zwar die Einwirkung des Windes, zog aber den Einflufs der Temperatur nicht so mit in Rechnung, dafs ein genügendes Resultat daraus hervorgehn konnte. Diesemnach können wir die sämmtlichen Versuche abtheilen in ältere, bei denen diese nothwendige Bedingung nicht be-

1 Vergl. Chladni in Hindenburg's Archiv d. rein. u. ang. Mathematik. 1794. Hft. 1. S. 127.

rücksichtigt wurde, und in neuere, wobei dieses geschah, wonach dann jene blofs noch geschichtliches Interesse haben, ohne zur Lösung des eigentlichen Problems etwas beizutragen, diese dagegen die Aufgabe der endlichen Entscheidung mehr oder weniger nahe bringen. Zu den älteren Versuchen gehören folgende. Gassendi[1] fand nicht selbst 1473 Fufs für 1 Secunde, sondern erwähnt eine der Bestimmungen durch Mersenne[2], welcher die genannte Gröfse und auch 1380 Fufs fand. Genauer war 1660 die Bestimmung der Florentiner Akademie[3] vermittelst abgebrannter Geschütze zu 1185 Fufs. Robert Boyle[4] fand 1200 Fufs. Walker[5] schwankt zwischen 1150 und 1526 F., eine so bedeutende Fehlergrenze, dafs hieraus allein die Unzulässigkeit des Resultates genügend hervorgeht. Die Bestimmung von Roberts[6] zu 1300 Fufs liegt zwischen beiden Angaben ungefähr in der Mitte; ihr nahe kommt die von Bianconi[7], welcher zugleich die Beobachtung machte, dafs die Wärme eine Vermehrung der Geschwindigkeit bewirke, indem der Schall im Winter 4 Sec. mehr gebrauchte, als im Sommer, um den gemessenen Raum von 16 ital. Meilen zu durchlaufen. Ungewöhnlich klein war die Geschwindigkeit, welche Flamstead, Halley und Derham[8] auffanden, und mit Newtons theoretischer Bestimmung mehr übereinstimmend, nämlich 1020 F. Mangel an Genauigkeit läfst sich den berühmten Versuchen der Mitglieder der Pariser Akademie nicht geradezu vorwerfen, allein die erhaltenen Resultate waren dennoch zu ungenügend, weil der Temperatur-Unterschied nicht in Rechnung gebracht und daher keine Uebereinstimmung unter den so sehr abweichenden Gröfsen gefunden wurde. Cassini, Huyghens, Picard und Olaus Rozmer fanden zuerst[9] 1097 Fufs, später nach ge-

---

1 Musschenbroek Introd. T. II. p. 920. §. 2231.

2 Harmon. univ. Par. 1635. fol. Prop. V. art. 4. Tractat. de arte ball. p. 138.

3 Musschenbroek Tent. Exper. II. p. 112.

4 Essay on languid motion. p. 24.

5 Phil. Trans. N. 256. T. XX. p. 434. Vergl. N. 247.

6 Phil. Trans. 1694. N. 209.

7 Comm. Bonon. II. 365. In Hamb. Magaz. XVI. p. 476.

8 Phil. Trans. N. 313. T. XXVI. p. 16. Ann. 1708 u. 1709.

9 Du Hamel Hist. de l'Acad. L. II. Sect. 3. C. 2.

Google

naueren Messungen[1] 1038 und dann 1041 F.; zu Quito fanden die französischen Akademiker, namentlich Condamine[2], 1044 und 1050, auf Cayenne aber[3] 1198. An diese Versuche schliefsen sich einige in Deutschland ausgeführte, die den in Frankreich angestellten rücksichtlich der Genauigkeit durchaus nicht nachstehn und für die damalige Zeit mit Rücksicht auf die gebrauchten Apparate das Problem zur definitiven Entscheidung gebracht hätten, wenn die Temperatur als Rechnungsfactor benutzt und dadurch die genaue Uebereinstimmung der einzelnen Resultate unter einander nachgewiesen worden wäre. Ein grofser Vorzug gebührt ihnen wegen der scharfen Zeitbestimmung, die vermittelst der gebrauchten Tertienuhren erhalten wurde, wobei es merkwürdig ist, dafs man diese für solche Beobachtungen unentbehrlichen Apparate in Deutschland und Holland, nicht aber in Frankreich angewandt hat. Kaestner und J. T. Mayer[4] wählten 1778 die Göttingische Sternwarte zum Beobachtungsorte, mafsen die Zeit mit einer Tertienuhr von Klindworth und erhielten für die Geschwindigkeit 1034 bis 1037 Fufs in einer Secunde, Müller[5] aber mafs später auf dem Felde bei Göttingen mehrere Standlinien mit der Kette und 16 F. langen Stäben, verglich diese gröfserer Genauigkeit wegen, gebrauchte zur Zeitbestimmung eine Tertienuhr von Ahrens und erhielt als Resultat 1040,3 Fufs. Diese werthvollen Versuche mögen also die Reihe der älteren beschliefsen. Der Zeit nach mit ihnen zusammenfallend sind diejenigen, welche die beiden Begleiter Malaspina's auf seiner Entdeckungsreise Don José de Espinosa und Don Felipe Bauza im Jahre 1794 zu St. Jago de Chili anstellten[6], wobei jedoch die Messungen so ungenau waren, dafs die Resultate weder unter sich noch auch mit andern zuverlässigen hinläng-

---

1 Mém. de l'Acad. 1738. p. 123. 1739. p. 126.

2 Introduct. histor. Par. 1751. p. 98.

3 Mém. de l'Acad. 1745. p. 488. Condamine Voy. de la Riv. des Amaz. p. 206. Vergl. Winkler Tentamina circa soni celeritatem per aerem atmosph. Lips. 1763. 4.

4 Dessen praktische Geometrie. Gött. 1792. I. 166.

5 Gött. gelehrte Anz. 1791. St. 159. Lichtenberg Mag. Th. VIII. St. 1. S. 170.

6 Ann. de Chim. et Phys. T. VII. p. 93. Vergl. Crelle Journal u. s. w. Th. II. S. 307.

Digitized by Google

lich übereinstimmen. Sie fanden nämlich bei 23°,2 C. die Geschwindigkeit des Schalles = 190,6 Toisen oder 1143,6 par. Fuſs und auf 0° Temperatur reducirt 1098,92 Fuſs.

Unter den neuern Versuchen, wodurch die Frage zur endlichen Entscheidung gebracht worden ist, stehn die von Benzenberg angestellten billig oben an, da sie eine geraume Zeit die einzigen waren, aus denen man die gesuchte Bestimmung entnahm. Als Beobachtungsort diente der Kirchthurm zu Ratingen, die Explosionen des Geschützes geschahen zu Düsseldorf, die Entfernung beider Puncte war trigonometrisch gemessen und zur Zeitbestimmung diente eine Tertienuhr von Praffius in Wesel. Jederzeit wurde das Mittel aus einer groſsen Menge einzelner Messungen genommen, die die zur Feier verschiedener Feste angeordneten Kanonenschüsse am 5. Nov., 2. und 3. Dec. 1809 und am 8. Juni 1811 gaben[1]. Unter diesen können jedoch bloſs die vom 3. Dec. 1809 und vom 8. Juni 1811 auf den erforderlichen Grad von Genauigkeit Anspruch machen, indeſs ergab sich bald der bis dahin entweder gar nicht oder nicht genügend beachtete und auf jeden Fall nicht als Rechnungsfactor benutzte Einfluſs der Temperatur, dieser ergiebt sich jedoch nicht bloſs aus der Erfahrung, sondern folgt auch nothwendig aus theoretischen Gründen. Die Geschwindigkeit der Schallwellen ist nämlich eine Function der Elasticität der Körper, und da die specifischen Elasticitäten der Luft bei 0° sich zu der bei t° wie die Einheit zu $1 + 0{,}00375\,t$ verhält, so muſs für eine bei irgend einer Temperatur = t in Graden der hunderttheiligen Scale beobachtete Geschwindigkeit = c die auf 0° reducirte Geschwindigkeit $c' = \frac{c}{\sqrt{(1 + 0{,}00375\,t)}}$ seyn, wie bereits oben §. 46. erwähnt worden ist. Werden die einzelnen Versuchsreihen hiernach auf 0° Temperatur reducirt, so geben die vom 3. Dec. 1809. 1028,3 Fuſs, die vom 8. Juni 1811 die erste Reihe 1026,8 F. und die zweite 1027,1 par. Fuſs, also giebt das Mittel aus diesen drei Reihen die Geschwindigkeit des Schalles in einer Sexagesimalsecunde und bei 0° Temperatur = 1027,4 par. Fuſs oder 333,7 Meter. Als dieser bedeutende Einfluſs der Temperatur einmal erkannt war, wandte man diese Cor-

1 G.XXXV. 383. XLII. 1 ff.

Digitized by Google

rection auch auf die mit gröfster Genauigkeit ausgeführten und umständlich beschriebenen Versuche der französischen Akademiker an, für deren Zuverlässigkeit ohnehin schon ihre grofse Uebereinstimmung unter einander entscheiden mufste. Die aus 8 Versuchsreihen an verschiedenen Tagen und an wechselnden Standpuncten erhaltene mittlere Gröfse ist 1036,35 par. F. und die mittlere Temperatur läfst sich mit grofser Sicherheit zu 6° C. annehmen, wonach dann die Formel

$$c' = \frac{1036{,}35}{\sqrt{1{,}0225}} = 1024{,}9 \text{ par. F.}$$

giebt [1].

Die erwähnten Versuche schienen den französischen Gelehrten das Problem noch nicht vollständig genug zu lösen und sie veranstalteten daher selbst solche, die ein vollständig genaues Resultat liefern sollten. Diese wurden am 21. und 22. Juni 1822 auf Veranlassung der Akademie an der nämlichen Stelle gemacht, die bereits 1738 zu diesem Zwecke gewählt worden war. Zur Erzeugung des Schalles wurden 6pfündige Kanonen angewandt, zur Messung der Zeit aber dienten geprüfte Taschen-Chronometer der Sternwarte, gegen deren genauen Gang zwar nichts einzuwenden ist, allein dafs sie die kleinen Zeitintervalle nicht mit gleicher Schärfe geben, als die Tertienuhren mit konischen Pendeln, unterliegt keinem Zweifel, und man mufs sich wundern, dafs die französischen Gelehrten solche nicht benutzten, die in Paris kaum bekannt sind, ungeachtet Pfaffius die von ihm verfertigten dem Institute früher vorgezeigt hat [2]. Um zugleich den Einflufs des Windes auszumitteln, wurde auf beiden Stationen theils beobachtet, theils der Schall erzeugt. Auf der einen zu Montlhery befanden sich A. von Humboldt, Gay-Lussac und Bouvard, auf der andern zu Ville-Juif Prony, Mathieu und Arago; das Wetter war heiter, es herrschte fast Windstille und der schwache Wind wehte von Ville-Juif nach Montlhery oder NNW. Dennoch hörte man alle Schüsse von Montlhery genau in Ville-Juif, auf der ersteren Station aber hörte man am 21. nur 7 Schüsse, am 22. nur einen. Am ersten

---

1 *Vergl.* R. van Rees dissert. de celeritate soni. Traj. ad Rhen. *1819.* 4. *p. 36.*

2 S. Benzenberg a. a. O.

Digitized by Google

Tage war mittlerer Barometerstand 756,4 Millim. (27″ 11‴,309), Thermometer 15°,9 C., Hygrometer 72°; am 22sten war Barometerstand 755,58 MM. (27″ 10‴,946), Thermometer 17°,6, Hygrometer 95°. Die mittlere Zeitdauer zwischen dem gesehenen Blitze und dem gehörten Schalle betrug am ersten Tage zu Montlhery 54″,43, zu Ville-Juif 54″,81, und der Schall durchlief also die gemessene Strecke im Mittel in 54″,6; am zweiten Tage, wo blofs zu Ville-Juif gemessen werden konnte, betrug die Zeitdauer 53″,75. Die genau gemessene Entfernung beider Stationen war 9549,6 Toisen, und somit durchlief der Schall 174,9 Toisen oder 1049,4 Fufs in einer Secunde. Die Correction für 1° C. beträgt 0,321 Toisen, und diesemnach ist die Geschwindigkeit des Schalles bei 10° C. 173,01 Toisen oder 1038,06 Fufs, auf 0° reducirt giebt dieses aber eine Geschwindigkeit von 169,8 Toisen oder 1018,8 Fufs [1].

67) Theils Wifsbegierde, theils das Streben, Versuche dieser Art auch einmal in den Niederlanden anzustellen, vermochten die Professoren G. Moll und A. van Beek solche zu veranstalten, ein Unternehmen, welches durch den Prinzen Friedrich begünstigt und durch den Lieutenant-Colonel Kuytenbrewer durch Ueberlassung der nöthigen Artilleriestücke unterstützt wurde. Der Beobachtungsort war auf einer weiten Ebene in der Gegend von Utrecht, wo zwei niedrige Hügel, der Kooltjesberg und Zevenboompjes, ausgesucht wurden. Auf jener Station waren Moll mit den Lieutenants Renault und Dilg, auf dieser van Beek mit den Lieutenants Sommerton, van den Bylaardt und Seelig, nebst einigen Cadetten und Studirenden, die zugleich mit halfen. Zur Regulirung der Zeit dienten zwei Chronometer der Marine, einer von Arnold, der andere von Knebel, zur Zeitmessung aber zwei Tertienuhren mit konischem Pendel von Pfaffius; auf jeder Station war ferner ein regulirtes Barometer, mehrere gute Thermometer von Dollond und Newman und ein Daniell'sches Hygrometer und zur Bestimmung der Windrichtung dienten Fahnen. Die sämmtlichen Instrumente befanden sich unter Zelten, zum Schiefsen aber hatte jede Station einen 12- und einen 6pfünder.

---

1 Arago in Ann. de Chim. et Phys. T. XX. p. 210.

Digitized by Google

Zu gröfserer Genauigkeit gaben sich beide Stationen ein Signal durch eine Rackete, dafs alles vorbereitet sey, dann feuerte genau 8^h Abends die Station Zevenboompjes eine Kanone ab und 5 Minuten nachher die zweite, wodurch zugleich der Gang der Chronometer angedeutet wurde, indem der Blitz des Pulvers auf der andern Station genau nach dem Chronometer der dortigen Station notirt und dann um $8^h.\ 10'$ der Zeit des Chronometers auf der ersten Station auf beiden ein Schufs abgefeuert wurde. Die Gleichzeitigkeit der Schüsse wurde bis auf einen Unterschied von 1 oder 2 Secunden erhalten, allein am 23., 24. und 25. Juni 1823 hörte man zu Kooltjesberg keinen von den Schüssen der andern Station, ungeachtet 6 ℔ Pulver genommen wurden; am 26. hörte man dort alle Schüsse, aber keinen zu Zevenboompjes; als aber der Wind sich änderte, hörte man mehrere Schüsse auf beiden Stationen. Hierdurch zeigte sich indefs ein für solche Versuche sehr wichtiger Umstand, nämlich dafs blofs gleichzeitige Schüsse auf beiden Stationen das Problem über die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung genügend zu entscheiden vermögen, denn die reducirten Beobachtungen an den ersten Tagen gaben Unterschiede von $\frac{1}{51}$, statt dafs die an den letzten nur bis $\frac{1}{1017}$ stiegen. Die Hauptpuncte zur Bestimmung des Abstandes beider Stationen wurden aus Krayenhoff's geodätischen Messungen genommen, die genaue Entfernung derselben aber durch trigonometrische Operationen erhalten. Ueber alles dieses, die gesammten Resultate der Beobachtungen und die zur Correction derselben genommenen Gröfsen giebt der abgestattete Bericht die genaueste, ins Einzelne gehende Auskunft[1], so dafs nach der schärfsten Prüfung diese Versuche unter allen übrigen bei weitem den ersten Rang einnehmen und zur definitiven Entscheidung der Aufgabe dienen können. Es ist dann nach diesen die auf 0° Temperatur und trockene Luft reducirte Geschwindigkeit des Schalles 332,049 Meter oder 1022,194 par. Fufs oder 1089,7445 englische F.

Das Verhältnifs, in welchem der Schall durch den Einfluss der Temperatur beschleunigt wird, ist oben §. 66. bereits angegeben, es kommt indefs noch der Factor wegen des

1 Phil. Trans. 1824. p. 424. Daraus in G. LXXXI. 351. 469.

Digitized by Google

Feuchtigkeitszustandes der Atmosphäre hinzu, weil die Luft durch den beigemischten Wasserdampf dünner wird. Heifst dann der corrigirte Barometerstand B, die Temperatur in Graden der hunderttheiligen Scale t, die Spannung des Wasserdampfes nach der Angabe des Hygrometers F, die beobachtete Geschwindigkeit des Schalles V, die corrigirte V', so ist

$$V' = \frac{V}{\sqrt{(1+0{,}00375\,t)} \times \sqrt{(1-0{,}37651\,\frac{F}{B})}}.$$

Bei den angegebenen holländischen Versuchen war am 27. Juni V = 340,06 Meter; t = 11°,16; F = 0,00925307 Meter; B = 0,74475 Meter; am 28sten V = 339,34 Meter; t = 11°,215; F = 0,00840465 Meter. Jene ersten Werthe in die Formel substituirt geben V' = 332,38 Meter, die letzteren V' = 331,72 Meter, der Unterschied beträgt 0,66 Meter oder $\frac{1}{503}$ des Ganzen[1].

Viele Versuche über die Fortpflanzung des Schalles stellte Goldingham[2] zu Madras an, indem er das Abfeuern der Kanonen des Forts beobachtete. Seine Versuche gehören zwar nicht zu den genauesten, geben aber dennoch einige interessante Resultate. Die Zeit wurde mit zwei Chronometern gemessen, welche 100 Schläge in 40 Secunden gaben, die Kanonen aber waren 24pfünder mit 8 ℔ Pulver geladen. Da die Beobachtungen eine lange Zeit hindurch fortgesetzt wurden, so änderte sich der Wind oft, und hiernach liefs sich sein Einfluſs messen. Wiederholte genaue Messungen gaben die Entfernungen 29547 und 13932,3 engl. Fufs, wonach die Uebereinstimmung der für beide ungleiche Gröfsen gefundenen Werthe beweist, dafs die Bewegung des Schalles eine gleichförmige ist. Aus der grofsen Reihe von Beobachtungen erhält man aber kein so genaues Resultat, als andere bereits erwähnte geben, worüber jedoch erst dann zu entscheiden wäre, wenn man sie auf gleiche Weise, als bei jenen geschehn ist, corrigiren wollte, was mir bei dem ungewissen Erfolge deswegen nicht nöthig scheint, weil die Frage selbst

---

1 Bydragen to de natuurkund. Wetenskapen. Amst. 1826. N. III. p. 191.

2 Phil. Trans. 1823. P. I. p. 96. Galbraith in Philos. Magaz. or Annals T. LXVI. 109.

schon hinlänglich entschieden ist. Im Mittel aus allen Beobachtungen erhält man 1142,34 engl. Fufs für 1 Secunde, welche Gröfse jedoch nach dem Barometer-, Thermometer- und Hygrometerstande erst corrigirt werden mufs. Wird diese Correction für die eine Reihe von Beobachtungen, die im Mittel 1142,18 engl. Fufs giebt, nach der Art vorgenommen, wie dieses durch Goldingham selbst geschehn ist, wonach 1,2 Fufs für 1° F., 1,4 Fufs für 1° des Hygrometers und 9,2 F. für 0,1 Zoll des Barometers gerechnet werden, so erhält man, den Barometerstand von $0^{m},766 = 30,158$ engl. Zoll als normal angenommen, für 29,992 engl. Zoll Barometerstand, 84°,11 F. Temperatur und 19° des Hygrometers die corrigirte Geschwindigkeit = 1079,65 engl. Fufs oder 1013 par. F. als corrigirte Geschwindigkeit des Schalles in 1 Secunde. Wird der gefundene Werth nach der oben mitgetheilten Formel corrigirt, so ist $V = 348,138$ Meter, $B = 0,7622$ Meter, $t = 28°,95$ C., $F = 0,00408$, und man erhält $V' = 331,00$ Meter oder 1019 Fufs.

Neuerdings sind auch in den österreichischen Staaten solche Schallversuche durch Myrbach und Stampfer zwischen Unsterberg und Mönchsstein unweit Salzburg angestellt worden[1]. Die Entfernung der Stationen betrug 30601 Fufs, und als Resultat ergab sich eine Geschwindigkeit des Schalles von 1025,9 Fufs in einer Secunde. Sie haben den Vorzug vor andern, dafs der Höhenunterschied beider Beobachtungsorte 4198 par. Fufs bei einer gegen den Horizont geneigten absoluten Entfernung von 30601 par. Fufs betrug, und zeigen also, dafs diese schiefe Richtung keinen Einfluſs auf die Schallgeschwindigkeit hat. Die Versuche von Gregory[2] zu Woolwich sollten dazu dienen, den Einfluſs des Windes auszumitteln. Die Zeit wurde durch ein von Hardy erfundenes Instrument gemessen, welches Zehntel von Secunden angab, allein die Standlinie betrug nur 6550 engl. Fufs.

Alle bisher namhaft gemachte Versuche wurden bei mitt-

---

1 Jahrbücher des Wiener polytechn. Instituts. Th. VII. S. 23. Vergl. Quarterly Journ. of Sc. New Ser. N. VIII. p. 424.

2 Philos. Magaz. T. LXIII. Biblioth. Brit. XXVII. p. 264. Monthly Magaz. 1824. Aug. p. 59. Transact. of the Cambr. Phil. Soc. T. II. P. I. p. 119.

Digitized by Google

lerer und selbst hoher Temperatur angestellt, keine derselben selbst nur bei einer Wärme unter dem Gefrierpuncte des Wassers. Um so schätzbarer müssen daher diejenigen erscheinen, wodurch die englischen Reisenden in den kalten Polargegenden die Wissenschaft bereichert haben. Die Anzahl derselben ist nicht gering, auch begünstigte die Stille jener öden Gegenden die Operationen, wenn gleich auf der andern Seite die Handhabung feiner Instrumente bei so hohen Kältegraden fast die menschlichen Kräfte übersteigt. Eine lange Reihe von Beobachtungen machte Kendal[1] in der Nähe des Sclavensees, dessen Höhe 263 engl. Fufs über dem Meeresspiegel geschätzt wird. Das dabei gebrauchte Thermometer war gut, die Uhr von Massey zu Liverpool war zum Arretiren eingerichtet, zeigte 0,1 Sec. und konnte bis 0,01 Sec. geschätzt werden[2]; nur einmal blieb sie bei gröfster Kälte stehn. Die Standlinien, meistens 5280 engl. Fufs lang, die geringste 2640, die gröfste 6084 engl. Fufs, waren mit hölzernen Stangen gemessen. Nehmen wir zuerst die Resultate so, wie sie in englischem Mafse ausgedrückt sind, so war die Geschwindigkeit bei 28° bis 27° F. im Mittel 1118 F., 1122 F., 1114 F., 1102 F., 1104,3 engl. Fufs. Bei 10° bis 3° war sie 1089 F., von — 20° bis — 10° war sie 1088, von — 2° bis — 4° war sie 1079, bei — 35°,8 war sie 1036,08 und wurde durch den Wind um 17,3 Fufs beschleunigt, bei — 41° F. endlich war sie 1030,3 und die Wirkung des Windes betrug 15,1 Fufs. Wenn man die Grade der Fahrenheit'schen Scale in hundertheilige verwandelt und die erhaltenen mittlern Resultate uncorrigirt nimmt, so ergeben sich folgende durch den Einfluss der Temperatur erzeugte Gröfsen.

---

1 Narrative of a second Expedition to the shores of the Polar-See in the Years 1825, 26 and 27 by John Franklin. Lond. 1828. 4. App. IV.

2 Diese Angabe schliefst eine Unmöglichkeit in sich. Wer jemals mit einer Tertienuhr experimentirt hat, mufs überzeugt seyn, dafs die Zeit durch diese mechanisch zwar in noch kleinere Theile getheilt werden kann, an eine Schätzung dabei aber gar nicht zu denken ist. Kann man also bei dieser die 60stel Secunden, die der Zeiger zeigt, nicht einzeln ablesen, so ist es noch viel weniger möglich, 100stel Secunden blofs zu schätzen.

Digitized by Google

Temperatur 100thl. Sc.	Geschwindigkeit in engl. Fufs	Unterschied für 1° F.
— 2°,50	1112	
		1,15
—14°,70	1089	
		1,15
—19°,44	1079	
		1,28
—37°,67	1036,1	
		1,09
—40°,56	1030,3	

Das Mittel aus allen Beobachtungen giebt 1,17 Fufs Beschleunigung für 1° F., von welchem mittleren Werthe die einzelnen Gröfsen so wenig abweichen, dafs hiernach der Einfluſs der Temperatur bis zu den höchsten Kältegraden als sich selbst stets gleichbleibend zu betrachten ist.

Der Barometerstand und die Grade des Hygrometers sind nicht angegeben. Werden daher die diesen zugehörigen, ohnehin ganz unbedeutenden Correctionen weggelassen, die gefundenen Gröfsen dagegen auf Meter reducirt und für die Temperatur corrigirt, so erhält man folgende Werthe.

Temperaturen Cent. Gr.	Geschwindigkeit in 1″. uncorrigirte	corrigirte.
— 2°,50	338,938	340,57
— 14,70	331,928	341,47
— 19,44	328,880	341,93
— 37,67	315,803	340,79
— 40,56	314,037	341,04.

Diese Werthe stimmen zwar insgesammt sehr genau unter einander überein, sind jedoch alle zu grofs, so dafs sie mit einem constanten Fehler behaftet seyn müssen, der bei einer genauern Correction vielleicht wegfallen oder mindestens geringer werden würde.

Bei dem berühmten Winteraufenthalte der englischen Reisenden auf der Insel Melville veranstaltete Capt. Parry[1] in Verbindung mit Lieut. Nias und Fischer mehrere Reihen von Versuchen über die Fortpflanzung des Schalles. Sie bedienten sich dabei der auf dem Schiffe befindlichen Chrono-

1 Appendix to Capt. Parry's second Voyage cet. Lond. 1825. 4. p. 239.

Digitized by Google

meter und mafsen auf dem Eise mehrere Standlinien mit Stangen, deren Gröfse 2880 engl. F., 5632 F., 5643 F., 5645 und 8466 engl. Fufs betrug[1]. Die aus den einzelnen Versuchsreihen erhaltenen mittlern Werthe nebst den ihnen zugehörigen Temperaturen waren bei — 41°,3 F.= 985,9 engl. F., bei — 33°,3 F. = 1011,2, bei — 27°,2 = 1019,2, bei — 21° = 1031, bei — 2° = 1039,8, bei 33°,3 = 1069,9 engl. Fufs. Die Vergleichung der höchsten und tiefsten Temperaturen giebt 1,126 engl. Fufs für 1° F. Parry vergleicht diese Gröfse mit derjenigen, welche Goldingham zu Madras gefunden hat, nämlich 1,35 engl. F. für 1° F. Werden die erhaltenen Werthe auf Meter reducirt und auf gleiche Weise, als eben geschehn ist, für die Temperaturen corrigirt, so giebt dieses folgende Resultate.

Temperaturen Cent. Gr.	Geschwindigkeiten in 1″ uncorrigirte	corrigirte.
— 0°,72	326,100	325,66
— 19,00	316,932	328,86
— 29,45	314,250	333,18
— 32,80	310,653	331,72
— 36,28	308,214	331,60
— 40,72	300,503	326,46.

Diese Werthe kommen der Wahrheit so nahe, dafs man kaum voraussetzen darf, eine schäfere Berechnung, wobei zugleich auf den Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre Rücksicht genommen würde, könne bei so niedriger Temperatur und trockner Luft die Unterschiede noch mehr verschwinden machen; auf jeden Fall geht aus der gegebenen Zusammenstellung der sämmtlichen, gleichmäfsig berechneten Versuchsreihen hervor, dafs der Einfluſs der Temperatur auf die angegebene Weise corrigirt werden kann und keinem andern Gesetze unterliege, als worauf diese gegründet ist. Hierüber entscheidet der Umstand, dafs die in der Mitte liegenden Werthe der Wahrheit am nächsten kommen, die beiden äufsersten aber am stärksten abweichen. Im Mittel aus allen Versuchen beträgt die Ge-

1 Wenn diese Versuche keine gleich grofse Genauigkeit haben, als die meisten der zunächst folgenden, so liegt der Grund hiervon zum Theil wohl in der zu geringen Länge dieser Standlinien.

Digitized by Google

schwindigkeit des Schalles in 1 Sec. 329,152 Meter oder 1013,3 Fufs.

Unter die wichtigsten Versuche über die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles gehören diejenigen, die durch Capt. Parry und Lieut. Foster bei ihrem Winteraufenthalte zu Fort Bowen unter 73° 13′ 39″ N. B. und 88 54′ 55″ W. L. von Greenwich 1824 und 25 angestellt wurden[1]. Die dazu gebrauchte Kanone war ein 6pfünder, die trigonometrisch gemessene Standlinie war nach Parry 12892,96 und nach Foster 12892,82, also im Mittel 12892,89 engl. Fufs; zur Zeitmessung dienten Taschen-Chronometer, die Richtung war S. 71° 48′ O., der Wind blofs am 4. Juni stark; beobachtet wurde am 24. Nov. und 8. Dec. 1824, am 10. Jan., 7., 17., 21. Febr., am 2. und 22. März, am 3. und 4. Juni 1825, und dabei folgende Gröfsen gefunden.

Barom. engl. Z.	Therm. Fahr.	Wind	Beobachtete Zwischenzeit			Geschw. in 1″
			Parry	Foster	Mittel	
29,841	— 7°,0	O. S. O.	12,3525	12,4300	12,3912	1040,49
29,561	— 9,0	N. N. O.	12,3310	12,5266	12,4288	1037,34
30,268	— 37,0	O. S. O.	12,5889	12,4700	12,5290	1029,01
29,647	— 24,5	N. O.	12,6390	12,6167	12,6278	1020,99
29,598	— 18,0	Windst.	12,3720	12,4400	12,4060	1039,25
29,735	— 37,5	desgl.	12,8167	12,7067	12,7617	1010,28
30,398	— 38,5	östl.	12,6400	12,7800	12,7100	1014,39
30,258	— 21,5	westl.	12,4000	12,7167	12,5583	1026,64
30,118	+ 33,5	westl.	11,7333	11,7440	11,7387	1098,32
30,102	+ 35,0	S. O.	11,5889	11,4733	11,5311	1118,10

Hierbei sind zwar die Barometerstände angegeben, es fehlen jedoch die Hygrometerbeobachtungen; allein man übersieht leicht, und Moll[2] hat dieses auch durch Berechnung gezeigt, dafs die Aenderung, die hieraus bei so tiefen Temperaturen hervorgehn kann, zu unbedeutend ist, als dafs es nöthig wäre,

---

1 Journal of a third Voyage for the discovery of a North-West Passage cet. under the ordres of Capt. W. E. Parry. Lond. 1826. 4. App. p. 86.

2 Phil. Trans. 1828. p. 97. Im Auszuge in Poggendorff's Ann. XIV. 371.

sie zu berücksichtigen. Werden demnach die beobachteten Gröfsen auf Centesimalgrade und Meter reducirt, so erhalten wir folgende Werthe.

Wind	Temperatur		Geschwindigkeit in 1″	
	Fahr.	Cent.	uncorr.	corrig.
Schwacher O. S. O.	— 7°,0	— 21°,67	317,14	330,87
Stürmisch N. N. O.	— 9,0	— 22,78	316,18	330,62
Leicht O. S. O.	— 37,0	— 38,34	313,64	338,95
Leicht N. O.	— 24,5	— 31,39	311,20	331,81
Windstill	— 18,0	— 27,78	316,76	334,67
Windstill	— 37,5	— 38,61	307,93	332,98
Leicht östlich	— 38,5	— 39,16	309,19	334,15
Leicht westlich	— 21,5	— 29,72	312,92	331,96
Leicht östlich	+ 33,5	0,83	334,77	334,25
Stark S. O.	+ 35,0	1,67	340,80	339,73

Moll bemerkt mit Recht, dafs man sich über die grofse Genauigkeit dieser Versuche wundern mufs, wenn man bedenkt, unter was für nachtheiligen Bedingungen sie angestellt wurden, nämlich bei einer so enormen Kälte, statt dafs alle übrige, mit Ausnahme der beiden zuletzt erwähnten Reihen, unter günstig gewählten Umständen, meistens in heiteren und warmen Nächten, ausgeführt wurden. Das arithmetische Mittel aus allen beträgt 334 Meter für 1 Secunde; wenn man aber die beiden in einer Temperatur über dem Gefrierpuncte des Wassers erhaltenen Resultate und das des dritten Versuchs ausschliefst, welches bei fast gleicher Temperatur, als das des sechsten, erhalten wurde und sich mit diesem verglichen offenbar als zu grofs zeigt, so erhält man als Mittel = 332,44 Meter, welche Gröfse von der durch die holländischen Physiker gefundenen und als normal zu betrachtenden um nicht mehr als + 0,293 Meter abweicht. Läfst man dagegen blofs die letzte Beobachtung weg, so ist der mittlere Werth aus allen übrigen = 333,36 Meter. Moll findet hierfür nach einer etwas veränderten Methode der Berechnung 333,15 Meter und giebt überhaupt folgende Zusammenstellung der durch die vorzüglichsten Messungen gefundenen Resultate.

Digitized by Google

Die 9 ersten durch Parry und Foster erhaltenen Werthe geben V = 315,42597826 Meter bei — 27°,62 C., also ist

V″ =	333,15	Met.
Die 5te und 6te Versuchsreihe geben V″ =	333,71	—
die achte und neunte - - =	332,85	—
die holländischen Physiker fanden -	332,05	—
Stampfer und v. Myrbach - -	333,25	—
die französ. Akademiker, letzte Messung	331,05	—
Benzenberg - - - - -	333,70	—
Espinosa und Bauzá in Chili - -	356,14	—
Olinthus Gregory in England - -	335,14	—
die französischen Akademiker, erste Messung	332,93	—

Diese Bestimmungen sind jedoch nicht alle von gleichem Werthe, und man würde sich daher von der Wahrheit entfernen, wenn man aus allen das arithmetische Mittel nehmen wollte. Bei weitem den gröfsten Werth haben die holländischen Versuche wegen der Beobachtungsmethode und der gebrauchten Instrumente. Die englischen Versuche sind zwar bewunderungswürdig genau, allein bei den nachtheiligen Bedingungen, unter denen sie angestellt wurden, eignen sie sich weniger zur Lösung des fraglichen Problems im Allgemeinen, als vielmehr zur Begründung der Ueberzeugung, dafs der Einfluss der Temperatur bei den tiefsten Kältegraden sich stets gleich bleibt und auf gleiche Weise als bei gröfserer Wärme corrigirt werden kann. Am meisten verdienen die durch die französischen Akademiker gefundenen Werthe berücksichtigt zu werden, da die Versuche sowohl rücksichtlich der Beobachter als auch der gebrauchten Instrumente und der gewählten Methode auf einen hohen Grad von Genauigkeit gerechte Ansprüche haben. Es scheint mir daher am besten, bei dem überwiegenden Werthe der durch die holländischen Physiker erhaltenen Resultate die übrigen nur als zur Controle dienend zu betrachten, die eigentliche Bestimmung aber aus jenen zu entnehmen. Indem aber Moll aus seiner Berechnung derselben die corrigirte Geschwindigkeit = 332,05 Meter, Simons aber (§. 72.) = 332,244 Meter findet, so ist das Mittel aus beiden Werthen, also 332,147 Meter, als der Wahrheit am nächsten kommend zu betrachten. *Hiernach durchläuft also der Schall die trockene oder nur in einem geringen Grade feuchte Luft bei mittlerem Barometerstande und bei* 0° *C.*

Digitized by Google

Temperatur mit einer Geschwindigkeit von 332,15 *Meter oder* 1022,5 *par. Fufs in einer Sexagesimalsecunde mittlerer Sonnenzeit*[1].

b) Theorie der Schallfortpflanzung durch atmosphärische Luft.

68) Es scheint mir zweckdienlich, vor einer Untersuchung der sonstigen Bedingungen, die auf die Fortpflanzung des Schalles einen Einflufs ausüben, eine Uebersicht der theoretischen Betrachtungen vorauszuschicken, durch die man die Geschwindigkeit der Schallbewegung in der Luft zu bestimmen gesucht hat. Soviel unterliegt vorerst keinem Zweifel, dafs die Fortpflanzung des Schalles durch eine Wellenbewegung geschieht, die derjenigen, wodurch der Schall erzeugt wird, gleich ist; auch durchläuft eine Schallwelle beim Fortgange in der nämlichen Zeit einen gegebenen Raum, in welcher sie bei der Erzeugung des Tones diesen nämlichen Raum in der tönenden Pfeife zurücklegt. Inwiefern die Erzeugung und Fortpflanzung des Schalles in festen Körpern hiermit Aehnlichkeit habe, wird später gezeigt werden. Wir müssen uns also die Wellenbewegung bei der Fortpflanzung des Schalles durch die Luft gerade so vorstellen, als sie oben (B) versinnlicht worden ist, wobei die Wellen der einzelnen Töne die nämliche Länge[2] beibehalten, die sie in den Pfeifen zwischen zwei Schwingungsknoten einnehmen, obgleich es schwer ist, diese Vorstellung auf den unbegrenzten Raum und die Bewegung von einem Puncte aus in einer Sphäre von unbestimmter Ausdehnung überzutragen. Es folgt hieraus aber, dafs in Gemäfsheit der Wellenbewegung überhaupt die Fortpflanzung des Schalles nicht mit einem Fortschreiten der Luft (einem *motus progressivus*) verbunden ist, dafs vielmehr diese sich in Ruhe befindet, die feinen Bebungen abgerechnet, die auch in den tönenden Luftsäulen der Pfeifen gefunden werden und andere feste Körper zum Mittönen bringen oder erzittern machen.

---

1 Will man sich einer schärferen Berechnung überheben, so kann man für 1° C. Temperatur 1,926 in genähertem Werthe annehmen.

2 Ueber die Ausdrücke „Länge und Breite der Wellen" s. §. 38. c. Anm.

Digitized by Google

Dafs hierbei der Schall zu seiner Fortpflanzung einer eigenthümlichen unbekannten Flüssigkeit bedürfe, wie Giroa de Buzareingues[1] annehmen will, ist der Sache zu wenig angemessen, als dafs es eine Widerlegung erfordern könnte.

69) Der erste, welcher eine Theorie dieser Wellenbewegung aufgestellt hat, aus welcher dann die Geschwindigkeit der Fortpflanzung folgt, ist Newton[2]. Nach einer allgemeinen Darstellung dieser Art von Bewegungen zeigt er, dafs die Geschwindigkeiten der in einem elastischen Mittel fortgepflanzten Schläge (*pulsus*, so viel als Wellen) sich direct wie die Quadratwurzeln der Elasticitäten und umgekehrt wie die Quadratwurzeln der Dichtigkeiten verhalten, ein für die Bestimmung der Tonhöhen, die durch die Schwingungen ungleicher elastischer Flüssigkeiten in den nämlichen Pfeifen erzeugt werden, höchst wichtiges Axiom. In gleich dichten und gleich elastischen Medien gehn daher die Wellen mit gleicher Geschwindigkeit fort. Der Hauptsatz der Theorie ist dann, dafs die hin und zurück oscillirenden Theilchen der elastischen Flüssigkeiten nach den Gesetzen der Schwungbewegung der Pendel beschleunigt und retardirt werden, wodurch das Mittel gegeben ist, aus der Dichtigkeit und Elasticität der Flüssigkeit die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Schallwellen zu finden. Es müssen nämlich die Pulsus der Schallwellen in der nämlichen Zeit den Umfang des Kreises durchlaufen, in welcher ein Pendel von der Länge des Durchmessers dieses Kreises eine ganze Schwingung vollendet, vorausgesetzt dafs das Medium überall gleichmäfsige Dichtigkeit habe. Die Zeit t einer ganzen Pendelschwingung ist aber $t = \pi \sqrt{\frac{2l}{g}}$, wenn die Länge des Secundenpendels $= l$, der Fallraum eines Körpers im leeren Raume und im Niveau des Meeres g ist und π die Ludolph'sche Zahl bezeichnet[3]. In der nämlichen Zeit durchläuft die Schallwelle den Raum $\pi 2l$, und es findet also für eine Secunde das Verhältnifs $2\pi l : \pi \sqrt{\frac{2l}{g}} = \sqrt{2lg}$ statt. Es ist aber $\sqrt{2lg}$ der Ge-

1 Annales de la Soc. Linn. de Paris. T. V. p. 191.
2 Princ. Lib. II. Sect. VIII. prop. 42 bis 50.
3 S. *Pendel*. Bd. VII. S. 309.

schwindigkeit gleich, welche der Fallhöhe $= \frac{1}{2}$ l zugehört, mithin der Geschwindigkeit, welche ein Körper durch den Fall von einer Höhe erhalten haben würde, die der halben Atmosphäre von gleicher Dichtigkeit, als diese im Niveau des Meeres hat, gleich kommt. Letztere läfst sich durch die Länge der Quecksilbersäule im Barometer und das Verhältnifs des spec. Gewichts der Luft zum Quecksilber nach hydrostatischen Gesetzen finden, und diesemnach mufs der Schall in einer Secunde den Raum durchlaufen, welcher durch die Formel $\sqrt{2\,p\,B\,g}$ gegeben ist, wenn p das spec. Gewicht des Quecksilbers zur Luft, B die Barometerhöhe und g den Fallraum eines frei fallenden Körpers in einer Secunde bezeichnet. Newton nimmt in englischem Mafse das Verhältnifs des spec. Gewichts der Luft zum Quecksilber

$$= 1 : 13{,}5 \times 850 = 1 : 11617,$$

die Barometerhöhe $= 30$ Zoll, wonach also

$$p\,B = \tfrac{30}{11} + 11617 = 29042 \text{ Fufs}$$

beträgt, und aus der Länge des Secundenpendels $= 39{,}2$ Zoll setzt er $g = 16{,}12$ Fufs, so dafs also die Geschwindigkeit des Schalles in einer Secunde

$$V = \sqrt{(2 \times 29042 \times 16{,}12)} = 968 \text{ Fufs}$$

gefunden wird. In den spätern Ausgaben wird das Verhältnifs des specif. Gewichts $= 1 : 13\frac{3}{4} \times 870 = 1 : 11890$ gesetzt, wonach also $pB = 29725$ und $V = 979$ Fufs wird.

Schon damals wufste man aus einigen unvollkommenen Versuchen, namentlich wo die von Mersenne bekannt waren, dafs die Erfahrung die Schallgeschwindigkeit gröfser angebe, und Newton setzte daher eine Correction hinzu, die bei der Unbestimmtheit, womit sie hingestellt ist, ihrem eigentlichen Sinne nach nicht leicht verstanden wird. Er sagt nämlich, man müsse bei der Bestimmung der Schallgeschwindigkeit noch den Einfluss der festen Bestandtheile der Luft berücksichtigen, in denen die Fortpflanzung ohne Zeitverlust (*in instanti*) geschehe. Angenommen die Dicke dieser Bestandtheile verhielte sich zu den Zwischenräumen wie 1 zu 9, so müsse die Geschwindigkeit dadurch um $\frac{1}{9}$ vermehrt werden und also 1088 Fufs in 1 Secunde betragen. Das hier angenommene Verhältnifs scheint mir nicht willkürlich gewählt zu seyn, sondern auf dem Verhältnisse der Dichtigkeit der Luft zum Wasser zu

Digitized by Google

beruhn. Betrüge nämlich der lineare Abstand der festen Theile der Luft die neunfache Dicke der letzteren, so müfste eine Verdichtung des Luftvolumens zum 9^3fachen die Luft in einen festen oder tropfbar flüssigen Körper verwandeln; es giebt aber $9^3 = 729:1$ das Dichtigkeitsverhältnifs des Wassers zur Luft so genau an, dafs für ganze Zahlen diese Bestimmung der Wahrheit am nächsten kommt. Die hieraus entnommene Correction würde aber zu der Folgerung führen, dafs der Fortgang des Schalles durch feste Körper instantan erfolge oder keine mefsbare Zeit erfordere, unmittelbare Berührung ihrer Elementartheilchen und keinen Zeitverlust beim Uebergange des Schalles von dem einen zum andern derselben vorausgesetzt[1]. Abgerechnet aber, dafs bei der angenommenen Verdichtung noch keine absolute Dichtigkeit erhalten würde und daher der Abstand der Atome gröfser angenommen werden müfste, streitet jene Vorstellung ganz gegen die Natur der Schallwellen, die eine successive Verdichtung und Verdünnung in den Körpern jeder Art voraussetzen, so dafs in den Atomen an sich, sofern sie einer Verdichtung und Verdünnung nicht fähig sind, auch keine Schallfortpflanzung statt finden könnte. Richtig ist dagegen eine zweite durch Newton angegebene Correction, die auf der Anwesenheit der Dämpfe in der atmosphärischen Luft beruht, wodurch die Dichtigkeit derselben vermindert wird, da die Geschwindigkeiten der Schallfortpflanzung sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Dichtigkeiten verhalten. Wäre demnach in 11 Theilen Luft 1 Theil Wasserdampf enthalten, so müfste die Geschwindigkeit im Verhältnifs von $\sqrt{10} : \sqrt{11} = 20:21$ gröfser werden, mithin kämen zu 1088 Fufs noch 54 hinzu und der in 1 Secunde durchlaufene Weg betrüge also 1142 engl. Fufs.

Newton's Hypothese wurde durch L. Euler[2] wegen des nichtigen Einwurfs bestritten, dafs nach derselben die Luft nur um das Zehnfache ihres Volumens zusammendrückbar seyn müsse. Dennoch trat er der Theorie im Ganzen bei und

---

1 Parcitl in G. XXI. 449. vertheidigt diese Hypothese Newton's.

2 Conjectura physica circa propagationem soni ac luminis. Berol. 1750. 4.

nahm die gefundene Gröfse = 979 Fufs als richtig an, glaubte aber, die Geschwindigkeit der Schläge werde durch die folgenden Schläge vermehrt, so dafs also die Geschwindigkeit von der Menge der Schläge (*frequentia pulsuum*) abhängen, also bei hohen Tönen gröfser als bei tiefen seyn müsse, was der Erfahrung widerstreitet, wie Euler[1] später selbst einsah und daher der genannten Theorie im Allgemeinen beitrat. Gabriel Cramer[2] hielt diese Theorie für unhaltbar, weil sie zu anderweitigen, mit der Erfahrung nicht übereinstimmenden Folgerungen führe. La Grange[3] glaubte die Abweichung der Theorie von der Erfahrung daraus erklären zu können, dafs die bereits comprimirte Luft durch Vermehrung der zusammendrückenden Kraft weniger zusammengedrückt werde, Sulzer[4] dagegen nimmt gerade das Gegentheil an; beide Voraussetzungen sind jedoch mit der Erfahrung nicht übereinstimmend, da nach dieser das Mariotte'sche Gesetz innerhalb der angegebenen Grenzen allerdings zulässig ist. Chladni[5] und nach ihm Fischer[6] suchen die Ursache der Abweichung der Theorie von der Erfahrung in einer eigenthümlichen Beschaffenheit der Gasmischung, die in der atmosphärischen Luft gegeben ist, was jedoch im Ganzen nichts sagt; Lambert[7] wollte sie aus beigemengten heterogenen Bestandtheilen erklären, die das Gewicht der Luft vermehrten, nicht aber ihre Elasticität. Man kann aber alle diese Bemühungen nur als mifslungene Versuche betrachten.

70) Verschiedene Gelehrte haben mit einem grofsen Aufwande derjenigen Hülfsmittel, die die höhere Analysis darbietet, eine Theorie der Schwingungen aufzufinden gesucht, wodurch die Fortpflanzung der Schallwellen bewirkt wird. Die vorzüglichsten und gelehrtesten Abhandlungen hierüber

---

1 Mém. de l'Acad. de Berlin. 1759. §. 42. Comm. Acad. Petrop. T. XVI.

2 Newtoni Princ. ed. Le Sueur et Jacquier ad L. II. Prop. XLVII. p. 864.

3 Mélanges de Philos. et de Math. de la Soc. de Turin. T. II. P. 2. p. 150.

4 Mém. de l'Acad. de Berl. 1753.

5 Akustik. S. 226.

6 Berliner Denkschriften 1816 u. 17. S. 63.

7 Mém. de Berlin, 1768. p. 70. G. XLIV. 240.

Digitized by Google

sind von L. la Grange[1], L. Euler[2], Poisson[3], Richard van Rees[4], W. Herschel[5], und mehrere kürzere, z. B. von Ivory[6], die rücksichtlich der Darstellung mit denen von Poisson sehr nahe übereinstimmen, von Galbraith[7], der hauptsächlich der Behandlung des Gegenstandes durch Ivory folgt, von Biot[8], Trembley[9] und Andern. Wie verschieden aber auch die Arten der Behandlung dieses schwierigen Problems sind, die ich hier wegen ihrer Ausführlichkeit und der Tiefe des in ihnen herrschenden Calcüls mitzutheilen billig Anstand nehme, so führen sie doch insgesammt zu dem Resultate, dafs nach Newton's richtiger Hypothese die Geschwindigkeit des Schalles in trockner Luft in 1 Secunde der Quadratwurzel aus dem Producte der Barometerhöhe in die Fallgeschwindigkeit einer Secunde dividirt durch das Dichtigkeitsverhältnifs der Luft zum Quecksilber gleich ist. Der Ausdruck hierfür ist also

$$V = \sqrt{\frac{2gB}{\delta}}.$$

Da in diesem Werke einmal aus genauen Messungen bestimmte Gröfsen angenommen sind, so entlehne ich diese hier zur Substitution in diese Formel. Nach den Fallgesetzen[10]

---

1 Mém. de Turin. T. I. p. 247. und Miscellan. Taurin. T. II.

2 Ebend. T. II. u. III. und Mém. de l'Acad. de Berlin. 1759. p. 185. 210. 241. Desgl. ebend. 1765. p. 335.

3 Mém. de l'Acad. Inst. de France. T. XVIII. p. 121. u. Journ. de l'École Polyt. Cah. XIV. p. 360. Vergl. Ann. Chim. et Phys. XXII. p. 5.

4 Dissert. physico-math. inauguralis de celeritate soni per fluida elastica propagati cet. Traj. ad Rhen. 1819. 4.

5 Encyclop. metropolitana. Art. Sound.

6 Philosophical Magaz. and Journ. T. LXIII. p. 426. T. LXVI. p. 1. und in Philos. Magaz. or Ann. T. I. p. 249. Vergl. Avogadro in Memorie della Reale Accad. delle Scienze di Torino. T. XXXIII. p. 237. Ivory's Darstellung ist heftig angegriffen worden durch H. Matte in Quarterly Journ. of Sc. New Ser. N. VII. p. 124.

7 Philos. Magaz. and Journ. T. LXVI. p. 109. T. LXVIII. p. 214. Phil. Magaz. or Ann. T. I. p. 336.

8 Journ. de Phys. T. LVII. p. 173. Vergl. Traité de Phys. T. II. p. 6 ff. G. XVIII. 385.

9 Mém. de l'Acad. de Berlin. 1801.

10 S. *Fall*. Bd. IV. S. 9.

ist der Fallraum in einer Secunde $g = \frac{1}{2} L.\pi^2$, wenn L die Länge des einfachen Secundenpendels und π das Kreisverhältnifs bezeichnet. Die Länge des Secundenpendels unter 45° N. B. ist aber[1] L = 0,993534 Meter oder 440,429754 Linien, mithin ist 2g = 9,8058 Meter oder 30,186 par. Fufs. Das Dichtigkeitsverhältnifs des Quecksilbers gegen Luft[2] bei 0° C. unter dem 45sten Grade der Breite im Spiegel des Meeres und bei 0,76 Meter oder 336,905 par. Lin. Barometerhöhe ist aber 10466,8, wobei dann B oder die Barometerhöhe von selbst gegeben ist. Werden diese Gröfsen in die angegebene Formel substituirt, so ergiebt sich

V = 279,29 Meter oder = 859,77 par. Fufs,

ein Werth, welcher weit geringer ist, als der durch Erfahrung gefundene. Dieser Werth von V gilt jedoch blofs für die angegebenen Bedingungen und ändert sich, wenn diese anders werden. In Beziehung auf diese Correctionen ist zu bemerken, dafs der Unterschied der geographischen Breite nicht von directem Einflusse ist, vielmehr vernachlässigt werden kann, da er bei der Bestimmung von g und von δ in entgegengesetztem Sinne vorkommt, auch die Veränderung des Barometerstandes fällt dadurch weg, dafs die Dichtigkeit der Luft als Hauptfactor bei der Bestimmung von δ in gleichem Verhältnisse abnimmt, als die Quecksilberhöhe im Barometer wächst. Dagegen ist die Wärme vom bedeutendsten Einflusse, indem die Geschwindigkeiten der Schallwellen wie die Quadratwurzeln aus dem durch Wärme vergröfserten Luftvolumen wachsen (§. 46.). Anfserdem wird die Luft durch die Anwesenheit der Wasserdämpfe leichter und dieses beschleunigt daher den Fortgang des Schalles in ihr. Auf welche Weise die Dichtigkeit der Luft für ihren Gehalt an Wasserdampf corrigirt werden könne, ist bereits gezeigt worden[3], die Ausmittelung dieses Gehaltes geschieht aber vermittelst des Hygrometers[4], und wenn dann auf diese Weise die Spannung des Wasserdampfes gefunden worden ist, so läfst sich nach dem von Gay-Lussac gefundenen Verhältnisse der Dichtigkeiten von Dampf und

---

1 S. *Pendel.* Bd. VII. S. 873.
2 S. *Gewicht.* Bd. IV. S. 1529.
3 S. *Gewicht.* Bd. IV. S. 1499.
4 Vergl. *Hygrometer.* Bd. V. S. 648.

Luft $= \frac{12}{16}$ oder $= \frac{4}{5}$, diese Gröfse von der Einheit abgezogen, der Einfluſs des Wasserdampfes finden. Hiernach ist die Formel für die theoretisch zu bestimmende Geschwindigkeit des Schalles in Metern

$$V' = 279{,}29 \sqrt{(1+0{,}00375\,t)} \times \frac{1}{\sqrt{(1-0{,}375\,\frac{f}{b})}}$$

und in par. Fuſs

$$V' = 859{,}77 \sqrt{(1+0{,}00375\,t)} \times \frac{1}{\sqrt{(1-0{,}375\,\frac{f}{b})}},$$

wenn t die beobachtete Temperatur in Centesimalgraden, f die Spannung des Wasserdampfes[1] und b den auf 0° reducirten Barometerstand bezeichnet. Ist eine bei irgend einer Temperatur unter oder über 0° C. und bei vorhandener Feuchtigkeit gemachte Beobachtung gegeben, so wird diese leicht auf den ursprünglichen oder normalen Werth reducirt, indem

$$V = \frac{V'}{\sqrt{(1+0{,}00375\,t)} \times \frac{1}{\sqrt{\left(1-0{,}375\,\frac{f}{b}\right)}}}$$

ist. Dieser analytische Ausdruck gilt für Meter sowohl, als auch für Pariser Fuſs, wenn in beiden Fällen t in Graden der Centesimalscale und die Gröſsen f und b in dem nämlichen Maſse ausgedrückt werden. Der letzte Factor des Nenners ist allezeit von der Einheit wenig verschieden, denn f ist stets viel kleiner als b, daher $\frac{f}{b}$ ein kleiner Bruch, welcher mit seinem Coefficienten multiplicirt die Einheit nur wenig vermindert, so daſs das ganze Glied des Nenners bei niedriger Temperatur und geringer Feuchtigkeit der Atmosphäre meistens vernachlässigt werden kann. Unter den Bemühungen, die Theorie mit der Erfahrung in Uebereinstimmung zu bringen, muſs noch diejenige erwähnt werden, wozu die bekannte *Dalton'sche Theorie* Veranlassung gab. Als nämlich DALTON[2]

---

1 Vergl. Bd. II. S. 351.

2 Manchester Mem. T. V. Ein neues System des chem. Theiles

Digitized by Google

die Hypothese aufgestellt hatte, dafs die verschiedenen expansibeln Flüssigkeiten abgesondert für sich in der Mengung der atmosphärischen Luft beständen, brachte zwar Gough[1] hiergegen sogleich das Argument vor, dafs dann der Schall in einer jeden dieser vereinten Atmosphären mit einer verschiedenen Geschwindigkeit fortgeleitet und daher bei einiger bedeutenden Entfernung vervielfacht gehört werden müsse, Benzenberg[2] dagegen berechnete aus den verschiedenen Dichtigkeiten der vereinten Atmosphären, dafs die des Wasserdampfes gerade ausreiche, um die aus den Versuchen hervorgehende gröfsere Geschwindigkeit des Schalles zu erklären. Hierbei mufste er zwar die Dichtigkeit des Wasserdampfes gröfser annehmen, als dieselbe sonst bestimmt ist, jedoch brachte ihn dieses Argument weniger von seiner Ansicht zurück, als vielmehr die triftigsten Gründe, womit Olbers[3] die Unhaltbarkeit derselben darthat, deren Mittheilung mir jedoch überflüssig scheint, da die ganze Theorie gegenwärtig als unzulässig betrachtet wird. Hube[4] meint, die Geschwindigkeit des Schalles sey derjenigen gleich zu setzen, womit die Luft in den leeren Raum strömt, also 1277 Fufs in einer Secunde[5]; eine Hypothese, die ich nur beiläufig erwähne.

71) Nach oft wiederholten und lange Zeit fortgesetzten vergeblichen Bemühungen, die Theorie mit der Erfahrung in Einklang zu bringen, stellte La Place[6] die Hypothese auf, die Vermehrung der Schallgeschwindigkeit entstehe durch die Wärme, welche durch die Schallwellen selbst ausgeschieden würde und die Elasticität der Luft vermehre. Der grofse Geometer wurde hierauf geleitet durch die Resultate derjenigen Versuche, woraus hervorging, dafs jede mechanische Zusammendrückung der elastischen Flüssigkeiten Wärme entbinde und jede Ausdehnung dieselbe in gleichem quantitativen Ver-

---

d. Naturw. von John Dalton. A. d. E. von Wolf. Th. I. S. 170. G. XII. 885. XXI. 382.

1 G. XXI. 403.

2 G. XLII. 156.

3 G. XLIX. 154.

4 Unterricht in der Naturlehre. Leipz. 1801. Th. IV. S. 377.

5 Vergl. *Pneumatik.* Bd. VII. S. 594.

6 Ann. Chim. et Phys. T. III. p. 238. T. XXIII. p. 1. Am ausführlichsten in Méc. cel. T. V. p. 119.

Digitized by Google

hältnisse latent mache. Um dieses Problem, welches bereits für einen andern Zweck erörtert werden mufste[1], hier möglichst einfach und leicht darzustellen, lasse ich die damit verbundene Frage über die hierbei thätige Wärme, nämlich diejenige, die den Gasarten ihre Expansion giebt, diejenige, die allen Körpern in verschiedenem Mafse eigen ist, und die sogenannte Wärme des Raumes ganz unerörtert und rede blofs im Allgemeinen von der Wärme der Gasarten, wovon ein Theil durch Zusammendrückung ausgeschieden wird und eine gleiche Menge sich bei gröfserer Ausdehnung als mangelnd zeigt, beide thermometrisch mefsbar. Diesemnach soll die theoretisch gefundene, wegen der Temperatur und der Feuchtigkeit corrigirte Geschwindigkeit des Schalles mit einem Factor $= \frac{c'}{c}$ oder $= k$ multiplicirt werden, welcher das Verhältnifs der specifischen Wärme der Luft unter einem beständigen Drucke zu ihrer specifischen Wärme bei constantem Volumen ausdrückt. Es ist also fraglich, wie dieser Factor $\frac{c'}{c} = k$ gefunden werde. Hierzu sind im Allgemeinen zwei Methoden anwendbar, die eine, indem man die Factoren c' und c durch eigene Versuche bestimmt, die andere, indem man den Werth von k aus den Resultaten entlehnt, die aus der Erfahrung über die Schallgeschwindigkeit bekannt sind. Beide Methoden sind bisher in Anwendung gebracht worden; die letztere setzt die Richtigkeit der durch La Place aufgestellten Hypothese nebst der theoretisch bestimmten Schallgeschwindigkeit, sowie auch die durch Erfahrung gefundene voraus und sucht dann einen constanten Factor, welcher die durch Versuche gefundenen Werthe den theoretisch bestimmten gleich macht, rücksichtlich der erstern dagegen geht aus dem Resultate der früher hierüber angestellten Untersuchungen[2] hervor, dafs die Bestimmungen der Werthe von c' und c noch sehr schwankend und von einander abweichend sind, auch zeigt sich bei den französischen Gelehrten ein unverkennbares Bestreben, die durch Versuche gegebene Schallgeschwindigkeit möglichst klein, dagegen die Gröfsen c' und c so zu bestimmen, dafs der Quotient grofs genug

1 S. Art. *Erde.* Bd. III. S. 1048.
2 Art. *Erde* a. a. O.

Digitized by Google

werde, um den Unterschied zwischen Theorie und Erfahrung verschwinden zu machen.

Alle spätere Untersuchungen über die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung in atmosphärischer Luft nehmen auf diesen Factor Rücksicht und weichen blofs in der Darstellung der Sachen oder wohl gar nur in der Wahl der Zeichen von einander ab; es wird daher genügen, blofs einige der vorzüglichsten ihrem wesentlichen Inhalte nach mitzutheilen, um dadurch einen Ueberblick der verschiedenen Darstellungen zu geben. Die gewöhnliche Bezeichnung der Newton'schen Formel, namentlich bei den französischen Gelehrten, ist

$$V = \sqrt{g \frac{h}{D}},$$

worin V wie oben die Schallgeschwindigkeit in 1 Sexagesimalsecunde, g die mittlere Fallgeschwindigkeit in der nämlichen Zeit (wofür nach der Observanz in diesem Werke oben $2g$ gesetzt ist), $\frac{h}{D}$ aber die Barometerhöhe und Dichtigkeit der Luft, entweder für 0° C. und den angenommenen mittlern Barometerstand, oder für diejenige Temperatur und Barometerhöhe bezeichnet, welche bei den Versuchen beobachtet wurden. Die Formel kommt also der oben §. 70. mitgetheilten gleich, mit dem einzigen Unterschiede, dafs der Factor für die Correction wegen des Feuchtigkeitszustandes der Atmosphäre darin fehlt[1]. La Place[2] bezeichnet g durch ε, die Relation $\frac{h}{D}$ durch h, und erhält demnach als analytischen Ausdruck

$$V = \sqrt{2h\varepsilon}.$$

Für die Beobachtungen der Pariser Akademiker im Jahr 1783 bei 7°,5 C. Temperatur giebt diese Formel 283,4 Meter, statt dafs die Erfahrung 337,2 Meter gab. Clement und Desormes fanden bei ihren erwähnten Versuchen, indem die Differenz der Spannung bei der im Ballon eingeschlossenen Luft 13,81 Millim. betrug, nach Wiederherstellung des Gleichgewichts eine aufs Neue entstehende Verminderung von 3,611 Millimeter. Es ist aber $\frac{13,81}{10,199} = 1,354$, und da für die Tem-

1 Vergl. Biot Traité T. II. p. 17.
2 Mécan. cel. T. V. p. 121.

Digitized by Google

peratur = 12°,5 C., wobei dieser Versuch angestellt wurde, $\sqrt{2h\varepsilon} = 286{,}1$ Meter, so giebt $\sqrt{2h\varepsilon \frac{13{,}81}{10{,}199}}$ die theoretische Schallgeschwindigkeit = 332,9 Meter. Die Erfahrung gab 337,2 Meter für 7°,5, also für 12°,5 corrigirt 340,4 Meter, welches die theoretische Schallgeschwindigkeit um nicht mehr als 7,5 Meter übersteigt.

La Place erhielt die Mittheilung von Resultaten anderer Versuche, die Gay-Lussac und Welter angestellt hatten[1], und die insofern von den erwähnten unterschieden waren, als sich im Ballon ursprünglich verdichtete Luft befand, die durch Oeffnen eines Hahns auf die Elasticität der äufsern gebracht wurde. Bei dem Versuche betrug der Ueberschufs des Drucks der Luft im Ballon 16,3644 Millim. und nach dem Auslassen der Luft stieg der Unterschied wieder auf 4,4409 Millimeter. Indem aber während der Dauer des Versuchs der äufsere Luftdruck 757 Millim. und die Temperatur 13° C. betrug, so war $P = 757$ Millim., $P' - P = 16{,}3644$ Millim., $P'' - P = 4{,}4409$ Millimeter, und also

$$\frac{P' - P}{P'' - P'} = \frac{16{,}344}{11{,}9235} = 1{,}37244,$$

welcher Werth die theoretische Schallgeschwindigkeit = 335,2 Meter giebt und also der durch Erfahrung gefundenen noch näher bringt. Weil jedoch auch hierdurch noch keine völlige Uebereinstimmung erhalten wurde, so fand sich das Längenbureau bewogen, die früheren Schallversuche durch die Mitglieder des Institutes wiederholen zu lassen, was dann auf die oben bereits angegebene Weise geschah. Bei der Berechnung der hierdurch gefundenen Resultate[2] wurde die Fallgeschwindigkeit nach de Borda = 9,80875 Meter, die Barometerhöhe 0,76 Meter und das Verhältnifs der Dichtigkeit des Quecksilbers gegen Luft nach Biot und Arago = 10466,82 angenommen, wonach dann die theoretische Schallgeschwindigkeit

$$V = \sqrt{(9^m{,}80875 \times 0^m{,}76 \times 10466{,}82)} = 279^m{,}331 = 860\,F.$$

---

1 La Place erwähnt die Versuche von La Roche und Bérard aus Ann. de Chim. T. LXXXV. p. 72. nicht, die jedoch gleichfalls für diesen und ähnliche Zwecke benutzt werden.

2 Vergl. Ann. Chim. et Phys. XX. 266.

Digitized by Google

seyn würde[1]. Die Temperatur bei den Versuchen war 16° C. (nach Mécan. cel. = 15°,9), und hiernach erhält man also

$$V = 279^m,331 \times \sqrt{(1 + 0{,}00375 \times 16)} = 287^m,59 = 885{,}12\,F.$$

Der Coefficient $\frac{c'}{c} = k$, wie er aus allen Versuchen von Gay-Lussac und Welter hervorgeht, beträgt für $0^m,757$ Barometerhöhe = 1,3748 und es soll sich von $-20°$ bis $+40°$ C. Temperatur und $0^m,142$ bis $2^m,300$ Barometerhöhe oder Quecksilberdruck keine mefsbare Abweichung von dieser Gröfse zeigen. Hiernach ist also

$$287^m,59 \times \sqrt{1{,}3748} = 337^m,202 = 1038{,}2 \text{ Fufs.}$$

Das Haarhygrometer zeigte bei den Versuchen 72° und hiernach beträgt die hieraus hervorgehende unbedeutende Correction $0^m,574$, so dafs die theoretische Schallgeschwindigkeit in diesem Falle 337,776 Metern gleichzusetzen ist, was von der aus den Versuchen hervorgehenden = 340,9 Metern nur um $3^m,1$ abweicht[2].

Poisson's[3] Darstellung weicht hiervon nur unbedeutend ab und möge daher blofs aus Rücksicht auf den berühmten Autor kurz erwähnt werden. Die von ihm gegebene Formel für die Schallgeschwindigkeit ist

$$V = \sqrt{\frac{g\,h}{D}\left(1 + \frac{\alpha\,\omega}{(1+\alpha\,t)\,\gamma}\right)}.$$

Hierin sind die Bezeichnungen g, h, D und t aus dem früher Gesagten bekannt, ω bezeichnet dann eine Veränderung dieser Temperatur, die einer Dichtigkeit = γ zugehört, und α ist der Coefficient der Luftausdehnung durch Wärme. Werden dann die eingeklammerten Gröfsen aus den Versu-

---

1 Die höchst unbedeutende Abweichung von der §. 70. gegebenen Normalbestimmung rührt von der Pendellänge, die hier nach de Borda, oben aber nach den neuesten Messungen genommen ist.

2 Da die aus den Versuchen der französischen Akademiker erhaltene Schallgeschwindigkeit kleiner ist, als die der holländischen Physiker, und der Coefficient k gröfser, als aus andern Untersuchungen folgt (S. Erde a. a. O.), so kann diese Abweichung von $3^m,1$ nicht wohl gering genannt werden.

3 Journ. de l'École polytechn. Cah. XIV. p. 360. Ann. Ch. Phys. XXII. 5. XXIII. 337. Connaissance des Temps. 1826. p. 257.

Digitized by Google

chen von Clement und Desormes[1] bestimmt, so setzt man kurz

$$V = \sqrt{\frac{gh}{D}} . k.$$

Es ist also $k = 1{,}3492$, und indem dann $t = 12°{,}5$ ist, $g = 9{,}8087$ Meter genommen wird,

$$h = 0^m{,}7665, \quad D = 0{,}000092042 \ldots,$$

so ist $\frac{h}{D} = 8327^m{,}66$ und $V = 331^m{,}97$. Die Mitglieder des Längenbüreaus fanden aus ihren mehrerwähnten Versuchen bei 15°,9 C. und 72° des Hygrometers $V = 340^m{,}89$, welches um $8^m{,}92$ zu grofs ist, statt dafs es für den Thermometerstand und das Hygrometer nur $2^m{,}69$ zu grofs seyn müfste[2]. Poisson meint, dafs aus den Versuchen von Clement und Desormes für $\gamma = 0{,}01355$ die Gröfse $\omega = 1°{,}321$ gefunden worden sey, statt dafs sie $= 1°{,}513$ seyn müsse, um dem durch die Akademiker erhaltenen Resultate zu genügen, jedoch könne dieser geringe Unterschied leicht der Wärmeabsorption durch die Wandungen der Gefäfse beigemessen werden. Poisson zeigt dann ferner, dafs diese Formel aus den Versuchen abzuleiten sey, ohne sie auf die Hypothese zur Erklärung des Mariotte'schen Gesetzes und der Ausdehnung der Gasarten zurückzuführen. Bezeichnet γ eine derjenigen gleichkommende Condensation der Luft, welche dieselbe durch eine kleine Verminderung der Temperatur bei gleichbleibendem Drucke erleidet, und welche Verminderung $= n$ seyn möge, so ist

$$\gamma = \frac{\alpha n}{1 + \alpha t} \text{ und}$$

$$V = \sqrt{\frac{gh}{D}\left(1 + \frac{\omega}{n}\right)}.$$

Heifst dann N diejenige Wärme, welche man der gegebenen Menge Luft mittheilen müfste, um ihre Temperatur von $t - n$ auf t bei gleichbleibendem Drucke zu erhöhn, und man condensirte die hierdurch ausgedehnte Luft plötzlich, um sie auf ihre ursprüngliche Dichtigkeit zurückzubringen, so müfste sie die Condensation $= \gamma$ erleiden und ihre Temperatur würde hier-

---

4 Journ. de Phys. 1819. Nov. p. 334.

2 Man sieht, dafs La Place's numerische Rechnung schärfer ist.

Digitized by Google

durch $= t + \omega$ werden. Hierdurch würde aber h vermehrt. Wäre dann die Temperatur ohne Veränderung des Volumens auf $t - n$ vermindert, so müfste die Elasticität $= h$ wieder hergestellt seyn. Diese Verminderung des Druckes würde eine kleine Verminderung der Temperatur hervorbringen, die man $\omega + n$ setzen und durch $a(\omega + n)$ ausdrücken kann, wenn a die Wärmemenge bezeichnet, die einer gegebenen Luftmasse mitgetheilt werden mufs, um ihre Temperatur bei gleichem Volumen um 1° zu vermehren. Indem hierdurch das Volumen, die Temperatur und der Druck der Luft nach diesem Wärmeverluste die nämlichen sind, als vor der Ausdehnung derselben, so mufs die mitgetheilte Wärmemenge $= N$ der verlornen gleich seyn, und es ist also $N = a(\omega + n)$, woraus $\frac{N}{an} = 1 + \frac{\omega}{n}$ wird, und es ist also $\frac{N}{an}$ das Verhältnifs der beiden specifischen Wärmecapacitäten der Luft bei der Temperatur t, der einen unter einem constanten Drucke, der andern bei constantem Volumen, wonach also, $1 + \frac{\omega}{n} = k$ gesetzt, die Formel die einfache Gestalt $V = \sqrt{\frac{gh}{D} \times k}$ erhält. Poisson bemerkt ferner ganz richtig, dafs der Werth von k auch aus den Versuchen über die Fortpflanzung des Schalles zu finden sey. Die Werthe von g, von h und von D sind nämlich so genau bestimmt, dafs sie keine merklichen Fehler zulassen. Ist dann die Schallgeschwindigkeit durch hinlänglich genaue Versuche gefunden und der Werth von V für die jedesmalige Temperatur bestimmt, so ist $V = \sqrt{\frac{gh}{D} \times k}$, woraus k gefunden wird. So erhält Poisson das uncorrigirte $V = 279{,}395$ Meter, die ersten Versuche der Pariser Akademiker wurden bei 6° Temperatur angestellt, und hiernach wäre theoretisch $V = 282{,}42$ Meter. Der Versuch gab 337,18 Meter, mithin ist $337{,}8 = 282{,}42 \sqrt{(1 + k)}$, woraus $k = 0{,}4254$ folgt. Allein dann ist k nichts weiter als ein constanter Factor, dessen Bestimmung auf keinem physikalischen Grunde beruht, er kann daher auch keineswegs, wie Poisson meint, dazu benutzt werden, um zu beweisen, dafs die Zusammendrückung der Luft um $\frac{1}{115}$ 1° C. Wärme aus-

Digitized by Google

scheide, da es noch nicht absolut erwiesen ist, dafs die Beschleunigung der Schallgeschwindigkeit auf diesem hypothetisch angenommenen Grunde beruhe[1].

Eine schätzbare, hier zu erwähnende Arbeit ist die Abhandlung, in welcher Moll[2] die oben bereits genannten, durch Parry und Foster zu Port Bowen veranstalteten Versuche für die Temperatur corrigirt und die hiernach gefundenen Resultate mit denen vergleicht, die aus der Theorie folgen. Die Formel, wonach er die theoretische Geschwindigkeit berechnet, ist die bekannte von Newton mit dem Zusatze des Coefficienten nach La Place, und hiernach erhält er für — 27°,62 C. Temperatur und den Factor $\sqrt{\frac{c'}{c}}$ nach Gay-Lussac und Welter genommen

$$V = \sqrt{\frac{gP}{D} \times \frac{c'}{c}}$$

$$= \sqrt{9{,}82827 \times 10441{,}55 \times 0{,}76 \times 0{,}896425} \times \sqrt{1{,}3748},$$

welches 310,0305696 Meter oder 1017,72 engl. Fufs giebt.

Die Beobachtung gab aber	315,426 M. =	1035,19 e. F.
Die theoretische Berechnung	310,031 — =	1017,72 —
Unterschied	5,395 M. =	17,47 e. F.

1 Die nämliche Darstellung giebt auch W. Herschel in Encyclop. Metrop. Art. Sound. Aus der Geschwindigkeit des Schalles findet er $1 + k = 1{,}4132$ und von den verschiedenen Versuchen, diesen Factor zu bestimmen, erwähnt er blofs die von Clement und Desormes. Beiläufig bemerke ich zugleich, dafs Ivory, dessen ausführliche Untersuchungen über diesen Gegenstand bereits oben Bd. III. S. 1058. erwähnt worden sind, vermittelst einer durch Poisson in Conn. des Tems 1826. aufgestellten Gleichung aus La Place's Hypothese den Werth von $k = \frac{4}{3}$ theoretisch bestimmt. Hiernach wird aber V = 1058 e. F., statt dafs die letzten Versuche der französ. Akademiker 1085 geben, welcher Unterschied als Beobachtungsfehler gelten soll. Es scheint mir überflüssig, die hier angegebenen Bestimmungen auch in englischem Fufsmafs und in Graden des Fahrenheit'schen Thermometers auszudrücken, da gegenwärtig sehr allgemein nach Metern und Centesimalgraden gemessen wird und sonstige Mafse hierauf leicht reducirt werden können. Eine vollständige Reduction auf englisches Fufsmafs und Fahrenheit'sche Grade von Galbraith findet man in Philos. Magazine and Journal etc. T. LXVI. p. 109. T. LXVIII. p. 214. und in Philos. Magaz. or Annals of Phil. T. I. p. 336. Er folgt hierbei hauptsächlich den Ansichten Ivory's.

2 Phil. Trans. 1828. p. 97.

Digitized by Google

Für diejenigen Versuche, die am 17. und 21. Februar 1825 bei —27°,75 F. oder —33°,2 C. angestellt worden waren, ist

$$V = \sqrt{9{,}82827 \times 10441{,}55 \times 0{,}76 \times 0{,}8755} \times \sqrt{1{,}3784}.$$

Dieses giebt die theoretisch berechnete Geschwindigkeit	=	306,39072 Meter
der Versuch gab		312,249446 —
	Unterschied	5,858726 Meter.

Die Versuche am 22. März und 3. Juni bei verhältnifsmäfsig höherer Temperatur, auf gleiche Weise theoretisch bestimmt, geben		318,488009 Meter
durch Versuche waren gefunden		323,741284 —
	Unterschied	5,253275 Meter.

Die Unterschiede sind einander so nahe kommend, dafs dieses als ein Hauptargument für die Genauigkeit der Versuche dienen kann. Die mittlere Differenz aus allen beträgt 5,395 Meter oder 17,47 Fufs. Bei diesen Versuchen wurde das Hygrometer nicht beobachtet, indefs zeigt Moll durch eine genaue Berechnung, dafs unter der Voraussetzung einer vollkommenen Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit hieraus keine gröfsere Differenz als für die kälteste Temperatur von 0,04141 Meter, für die mittlere von 0,0623921 M. und für die wärmste von 0,1568 Meter erwachsen würde, solche unbedeutende Gröfsen, dafs sie keine eigentliche Berücksichtigung verdienen. Eine Vergleichung der theoretisch berechneten und der durch Erfahrung gefundenen Schallgeschwindigkeit bei den Versuchen der holländischen Physiker giebt für die eine Reihe vom 27. Juni 1823 einen Unterschied von 4,92 Meter oder 16,147 engl. Fufs, für die zweite Reihe vom 28. Juni 4,24 Meter oder 13,916 Fufs, beide sehr genau übereinstimmend, aber von denen der englischen Reisenden verschieden, und zwar im Mittel von 0,815 Meter oder 2,44 engl. Fufs. Moll meint, dafs die Ursache hiervon in einer Unsicherheit der Gröfsen liege, die man für so niedrige Temperaturen unter hohen nördlichen Breiten bei der Berechnung in Anwendung bringt, wie auch La Place schon angedeutet habe, allein mir scheint dieselbe bei der genauen Uebereinstimmung der englischen sowohl als auch der holländischen Resultate unter sich vielmehr

Digitized by Google

in einem constanten Beobachtungsfehler zu liegen, vielleicht in einer durch die starke Kälte etwas geschwächten augenblicklichen Wahrnehmung.

Die neueste Bearbeitung dieses Problems ist von Dülong [1], welcher sich der Schallschwingungen bedient hat, um die specifischen Wärmecapacitäten der verschiedenen Gasarten aufzufinden. Man darf sich indefs durch die Resultate seiner allerdings schätzbaren Versuche nicht täuschen und zu der Ansicht verleiten lassen, als sey dadurch rücksichtlich der eigentlich vorliegenden Frage etwas entschieden, welches keineswegs der Fall ist, da vielmehr der zu beweisende Satz als bereits ausgemacht vorausgesetzt wird [2], nämlich dafs das Quadrat der wirklichen Schallgeschwindigkeit dividirt durch die Newton'sche theoretische Formel dem Verhältnifs der specifischen Wärme der Luft unter beständigem Drucke und bei unverändertem Volumen gleich ist, oder nach einem analytischen Ausdrucke

$$k = \frac{V^2}{\frac{g\,h}{D}\,(1 + 0{,}00375 \cdot t)}\,.$$

Dülong bestimmt jedoch unter dieser Voraussetzung die mittlere Schallgeschwindigkeit zu 333 Meter bei 0° Temperatur und findet hieraus k = 1,421. Simons [3] berechnet nach diesem Werthe von k die sämmtlichen Resultate der Versuche, die durch die holländischen Physiker, namentlich Moll und van Beek mit gröfster Genauigkeit angestellt wurden, und da diese nach seiner Berechnung als mittlere Geschwindigkeit des Schalles bei 0° C. und in trockner Luft 332,244 Meter geben, statt dafs Moll nach seiner oben mitgetheilten Angabe 332,05 gefunden hat, Dülong aber 333 Meter annimmt, so mufs hieraus eine Differenz hervorgehn. Dieses zeigt sich auch bei genauerer Untersuchung; denn die Summe der Unterschiede, um welche die nach Dülong's Bestimmung berechneten Werthe gröfser sind, als die aus den Versuchen erhaltenen (in

---

1 Ann. Chim. et Phys. T. XLI. p. 331.

2 Nous admettrons donc, comme un principe démontré, que u. s. w.

3 Philos. Trans. 1830. p. 209. Daraus in Poggendorff's Ann. XIX. 115.

Digitized by Google

der Tabelle die negativen Differenzen), beträgt 28,253 Meter, die Summe der Unterschiede, um welche sie kleiner sind, 9,361 Meter, welche Gröfsen addirt einen Ueberschufs von 18,892 Metern, also auf alle 28 Beobachtungen vertheilt genau übereinstimmend von 0,6747 Metern geben. Aus den Versuchen selbst erhält Simons den Werth von $k = 1{,}4152$, wobei sich dann allerdings die positiven und negativen Differenzen, deren gröfste 6,154 Meter beträgt, bis auf eine verschwindende Gröfse aufheben.

72) Aus der bisher mitgetheilten Darstellung geht hervor, dafs die durch La Place aufgestellte Hypothese den ungetheilten Beifall fast aller Physiker gefunden hat, jedoch steht dieselbe isolirt da und es giebt keine ähnliche Erscheinung, wodurch sie unterstützt wird; denn die Entbindung der Wärme durch mechanische Compression kann hierfür nicht direct benutzt werden, weil hierdurch gleichzeitig die Luft in gleichem Mafse dichter, also im Verhältnifs zum Quecksilber schwerer wird, welches die gefundene Schallgeschwindigkeit wieder vermindert. Auf jeden Fall ist die durch die Schallwellen vermeintlich ausgeschiedene Wärme durch gewöhnliche Thermometer und selbst durch die feinsten Mikrocalorimeter nicht mefsbar; wenn aber Beobachter beim Knalle heftiger Explosionen durch ihr Gefühl Wärme wahrgenommen zu haben glauben, so bleibt es fraglich, ob nicht die gleichzeitige starke, auch auf gröfsere Entfernungen fortgepflanzte Luftcompression oder der gewaltsame Eindruck auf die Gehörnerven diese vermeintliche Empfindung erzeugt habe[1]. Biot[2] glaubt jedoch einen unwiderleglichen Beweis einer wirklich statt findenden Wärmeentbindung durch die Schallwellen aufgefunden zu haben. Eine in einem mit Dämpfen gefüllten Ballon aufgehangene tönende Glocke wird gehört, und hierin liegt der Beweis, dafs die Dämpfe den Schall fortpflanzen. In Gemäfsheit dieser Thatsache argumentirt er auf folgende Weise. Wenn der Raum, welcher Dämpfe einschliefst, vermindert wird, so geht durch diese Raumverminderung ein Theil der

---

1 Nach den Versuchen von Wrede und Tralles in G. XVIII. 402.

2 Mém. de la Soc. d'Arcueil. T. II. p. 94. Vergl. Traité. T. II. p. 24. G. XXXIII. 237.

Digitized by Google

Dämpfe zur Gestalt einer tropfbaren Flüssigkeit über, ohne dafs der Rest an Elasticität gewinnt. Die Vibrationen des schallenden Körpers drücken die berührenden Theile des Dampfes zusammen, es müfste hier also ein leerer Raum entstehn, durch welchen der Schall nicht fortgeleitet werden könnte, wenn nicht die ausgeschiedene Wärme eine neue Expansion bewirkte und dadurch die factisch erwiesene Schallfortpflanzung möglich machte. Also ist der Einfluſs der Wärmeentbindung in diesem Falle unwidersprechlich erwiesen [1].

Wie ein so scharfsinniger Gelehrter dieses Argument aufstellen konnte, ist mir oft in der Art unbegreiflich gewesen, dafs ich die Sache unrichtig verstanden zu haben glaubte, obgleich es mir unmöglich war, bei gröfster Anstrengung einen andern Sinn, als den angegebenen, in den Worten zu finden; die französischen Gelehrten haben sich zwar wenig oder nie auf diesen vermeintlichen Beweis berufen, dafs er jedoch von keiner Seite einen Widerspruch gefunden, scheint mir blofs aus der hohen Achtung erklärlich, womit die unschätzbaren Verdienste des grofsen französischen Geometers La Place anerkannt wurden, und die es daher verhinderte, sich gegen irgend etwas zu erklären, was die Ansichten desselben zu unterstützen schien. Die gänzliche Unhaltbarkeit des aufgestellten Satzes läfst sich jedoch leicht zeigen. Wenn nämlich die tönende Glocke eine Schwingung macht, so drückt der nach aufsen gebogene Theil derselben allerdings die berührenden Dampfpartikeln zusammen, sofern sie nicht ausweichen, aber doch sicher nicht weiter, als bis wohin er mit denselben in Berührung bleibt. Gesetzt es würde durch diese Compression Wasser ausgeschieden, so bliebe der schwingende Theil der Glocke mit diesem und durch dasselbe mit den Dampfpartikeln in Berührung, es ist also stets ein die Schwingungen der Glocke aufnehmender und fortleitender Körper vorhanden, und auf keine Weise kann ein leerer Raum existiren, der dessen Fortpflanzung zu hindern vermöchte. Kaum halte ich für nöthig, auch auf den Rückgang der Schwingung Rücksicht zu nehmen; denn entstände hierdurch ein leerer Raum, so müfste das Nämliche auch bei der Luft statt finden,

---

1 Par conséquent, l'influence du développement de la chaleur dans ce phénomène est incontestable.

Digitized by Google

die gleichfalls durch die ausbiegende Schwingung, so gut als der Dampf, zurückgedrückt wird, und es könnte sonach in gasförmigen Medien überall keine Schallfortpflanzung statt finden. Die Sache ist in der That viel zu klar, als dafs ich diese Betrachtungen noch weiter auf die Wellen ausdehnen sollte, die durch tönende Körper in gasförmigen Flüssigkeiten erzeugt werden, ohne dafs wir nöthig haben, uns die letztern als so fest und unbeweglich ruhend vorzustellen, dafs eine ausbeugende Schwingung in ihnen eine solche Zusammendrückung bewirken könnte, wie Biot sie annehmen will.

La Place's Hypothese ist von wenigen Gelehrten angefochten worden. Wrede[1] findet in ihr einen logischen Widerspruch, indem die Ausscheidung der Wärme doch nur durch den mit seiner gegebenen Geschwindigkeit fortschreitenden Schall statt finden könne, und soll er also durch die hierdurch ausgeschiedene Wärme beschleunigt werden, so heifse dieses nichts anders, als er müsse erst mit seiner geringern Geschwindigkeit vorangehn, bevor die eigentliche gröfsere beginnen könne (da die Ursache doch früher als die Wirkung vorhanden seyn mufs)[2]. Prechtl[3] tritt dieser Ansicht bei und macht noch auf den wichtigen Umstand aufmerksam, dafs neben dem verdichteten Lufttheilchen ein gleichmäfsig verdünntes liege, welches in gleichem Mafse Wärme absorbire, als das verdichtete sie freilasse, wonach also diese entgegengesetzten Wirkungen sich nothwendig aufheben müssen. Benzenberg[4] findet einen Gegengrund in dem Umstande, dafs eine zu grofse Ausscheidung der Wärme erfordert werde, wenn man die wirkliche Beschleunigung des Schalles als durch diese verursacht betrachten wolle, und eine hierzu erforderliche Compression unmöglich statt finden könne. Meikle[5] glaubt, die Menge der freiwerdenden Wärme müsse der Stärke des Schalles proportional seyn und ein starker Schall daher schneller fortgepflanzt werden.

---

1 G. XVIII. 401.

2 Offenbar befindet sich das Luftelement, aus welchem die Wärme ausgeschieden ist, hinter der fortschreitenden Schallwelle und kann die ihr vorausgehende unmöglich beschleunigen.

3 G. XXI. 449.

4 G. XLII. 35.

5 Edinb. Phil. Journ. New Ser. N. VII. p. 100.

Digitized by Google

Alle diese Gründe scheinen mir jedoch minder wichtig zu seyn, als das Resultat der ausführlichen Untersuchungen, welche ich bereits bei einer andern Betrachtung angestellt habe[1]. Nach den Versuchen der französischen Gelehrten soll durch eine Zusammendrückung der Luft im Mittel um 0,010348 ihres Volumens 1° C. Wärme ausgeschieden werden, allein die Erscheinungen von aufsteigenden und hauptsächlich von herabstürzenden Luftmassen im Grofsen, wobei die Fehler der Experimente im Kleinen am wenigsten statt finden können, ergeben zur Evidenz, dafs eine so starke Wärmeentbindung ganz unstatthaft ist. Der kleinste Werth unter allen ist der von Clement und Desormes gefundene = 0,01025, Dülong aber findet aus der Schallgeschwindigkeit gar nur 0,00374... oder $\frac{1}{267}$ für 1° C., was sich mit den erwähnten und sonstigen unbestreitbaren Phänomenen auf keine Weise vereinigen läfst.

Die erwähnten Argumente sind so wichtig und so sehr auf anerkannte Thatsachen gegründet, dafs wahrscheinlich blofs die hohe Achtung gegen den berühmten Urheber dieser Hypothese, dessen unsterblicher Ruhm durch den Untergang derselben auf keine Weise beeinträchtigt werden kann, die Physiker bewogen hat, sie fast gänzlich unbeachtet zu lassen. Wie sehr sie aber eine nähere Würdigung verdienen, zeigt folgende Betrachtung, aus welcher nach meiner Ansicht die gänzliche Unhaltbarkeit der genannten Hypothese unwidersprechlich hervorgeht. Wir dürfen es nämlich als ein nicht zu bezweifelndes Axiom ansehn, was ohnehin bis jetzt von allen Physikern bei ihren Untersuchungen über die Fortpflanzung des Schalles durch die Luft ausdrücklich wiederholt und von keinem nur im mindesten bezweifelt worden ist, dafs die den Ton in Pfeifen erzeugenden Schallwellen namentlich rücksichtlich ihrer Geschwindigkeit und des in einer gegebenen Zeit durchlaufenen Raums mit denen identisch sind, durch welche der Schall fortgepflanzt wird[2], denn hierauf beruht die Bestimmung der Längen der Pfeifen, die eine gewisse Tonhöhe geben (s. §. 39). Hieraus folgt aber nothwendig, dafs diese Schallwellen ihre Geschwindigkeit, die gleichfalls gröfser seyn mufs, als aus der Theorie nach den gleichen Bedingungen,

---

1 S. Art. *Erde*. Bd. III. S. 1046 bis 1063; vorzüglich S. 1052.

2 Vergl. Weber Wellenlehre S. 638.

welche die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung geben, folgen würde, durch die nämliche Ursache erhalten, welche bei denjenigen Wellen angenommen wird, die den Schall fortleiten. Ein zweites auf gleiche Weise unwidersprechliches Axiom ist, dafs die sämmtlichen den longitudinalen Schwingungen zugehörigen Schallwellen in einem Fortschreiten durch Verdichtung und in einem Rückgange durch Verdünnung bestehn (§. 38). Wollte man diesen Satz der fraglichen Hypothese wegen in Zweifel ziehn, so müfste man alle die Erscheinungen in Abrede stellen, die das Verhalten des Sandes bei der Erzeugung der Längenvibrationen bei Röhren und Scheiben augenscheinlich zeigt, und würde sich in unlösliche Widersprüche bei der Erklärung derjenigen Luftvibrationen verwickeln, die durch die Zungen (elastische Bleche) in tönenden Röhren erzeugt werden, da diese schwingenden festen Körper auf gleiche Weise bei ihrem Rückgange eine verdünnende Welle erzeugen müssen, als sie bei ihrem Vorgange[1] eine verdichtende Welle hervorbrachten. Dieser Satz geht aufserdem mit unwidersprechlicher Gewifsheit aus demjenigen hervor, was §. 47. bis §. 50. über die Stöfse, und namentlich das Zusammenfallen der positiven und negativen Wellen, die sich aufheben und keinen Stofs geben, nachgewiesen worden ist, wie nicht minder am auffallendsten aus dem Bernoulli'schen Satze, dafs die Wellen der Luftsäule in einer an beiden Enden offenen Röhre einander entgegengesetzt sind, wie Wheatstone §. 37. c. obendrein factisch nachgewiesen hat. Das dritte Axiom, dessen ich zur Begründung des folgenden Arguments bedarf, ist, dafs durch die Zusammendrückung der Luft ebensoviel Wärme ausgeschieden, als durch eine gleich starke Ausdehnung gebunden wird, ein Satz, den noch kein Physiker in Zweifel gezogen hat, indem vielmehr die Versuche der französischen Physiker, wodurch sie die Menge der frei werdenden Wärme auszumitteln suchten, theils durch Verdichtung, theils durch Verdünnung einer eingeschlossenen Luftmasse angestellt wurden.

Sind diese drei Sätze als wohlbegründet zu betrachten, so folgt unwidersprechlich, dafs die Länge einer Schallwelle in

---

1 Dieser ungewöhnliche Ausdruck wird hier im Zusammenhange keine Mifsdeutung veranlassen.

Digitized by Google

einer tönenden Pfeife oder die Länge des Raumes zwischen zwei Schwingungsknoten gleichfalls durch den Einfluſs der ausgeschiedenen Wärme bedingt wird, und daſs somit, wenn ihre durch Erfahrung gegebene Geschwindigkeit = v′, die theoretisch berechnete aber = v genannt wird,

$$v' = v\sqrt{1+k}$$

seyn müsse. Ist aber k eine Function der durch Compression ausgeschiedenen Wärme, so muſs für die rückgehende Welle

$$v'' = v\sqrt{1-k}$$

seyn. Hiernach erhalten wir

$$v' : v'' = \sqrt{1+k} : \sqrt{1-k}$$

und für k den durch Dulong gefundenen numerischen Werth substituirt

$$v' : v'' = 1{,}192 : 0{,}76092 = 1{,}5666 : 1,$$

wonach aber die Summe der fortschreitenden Wellen gis und die der rückgehenden c geben würde und die Entstehung eines reinen oder gleichmäſsigen Tones ganz unmöglich wäre.

73) Sind die angeführten Argumente gültig, so herrscht über das so vielfach untersuchte Problem der Schallfortpflanzung noch die nämliche Ungewiſsheit, als vor der Auskunft, die La Place's Hypothese darüber zu geben schien, und nach so vielen vergeblichen Versuchen der gröſsten Geometer und Physiker, dieses Problem zu lösen, kann es allerdings ein gewagtes Unternehmen zu seyn scheinen, abermals die Lösung desselben nur einmal zu versuchen. So sehr ich dieses fühle, so halte ich mich dennoch für verpflichtet, meine Ansicht dieser Sache der Prüfung Sachverständiger anheimzustellen.

Vor allen Dingen muſs man sich den Ursprung der Schallwellen in der tönenden Luftsäule genau vorstellbar machen. Wellen entstehn in jeder Flüssigkeit, sobald sie bei ihrer Bewegung irgend ein Hinderniſs zu überwinden hat, wie man dieses beim flieſsenden Wasser deutlich bemerkt. Dieser im ganzen Gebiete der Physik höchst fruchtbare, bei weitem nicht hinreichend gewürdigte Satz kommt in Beziehung auf die Schallwellen zunächst insofern in Betrachtung, als die ruhende Luftsäule in den Pfeifen oft durch einen gegen eine scharfe Kante der Embouchüre stoſsenden, aus einer engen Mündung strömenden oder auf sonstige Weise in einzelnen Pulsus, also bereits wellenartig flieſsenden Luftstrom in Wellenschwingungen versetzt wird. Zur leichtern Uebersicht möge hier aber

nur der einfachere Fall betrachtet werden, wenn die Schwingungen eines vibrirenden Bleches die Wellen einer als ruhend angenommenen Luftsäule erregen. Es sey also A B die ruhende Luftsäule in der tönenden Pfeife, a b das ruhende Blech, die Zunge. Kommt dieses durch irgend eine Ursache in die Lage α' b und dann durch seine Schwingung in die Lage α b, so stöfst es gegen die Luftsäule, die zunächst liegenden Theilchen werden fortgestofsen, sie treiben die nächstfolgenden vor sich hin und die Bewegung pflanzt sich bis auf eine vorerst noch unbestimmte Entfernung fort. Ist das Blech bis α b gelangt, so schnellt es rückwärts, bis es in die Lage α' b kommt; sogleich beim Beginnen dieser Bewegung entsteht hinter demselben eine Verdünnung, die Welle läuft aus gleichen Gründen rückwärts, als welche unmittelbar vorher ihr Fortschreiten durch Verdichtung bewirkten, und die demnächst fortdauernde, den Ton erzeugende wechselnde Wellenbewegung ist gegeben. Die Zeitdauer einer Oscillation des Blechs bedingt die Zeitdauer des Fortganges und Rückganges einer Welle der Luft im Rohre, letztere kann daher nur eine gewisse Länge (in Beziehung auf die Axe der Röhre, sonst Breite) erhalten, wodurch also die Zeitdauer derselben und somit auch die Tonhöhe gegeben ist; denn das Element des Querschnittes der vibrirenden Luftsäule, in welchem die vor- und zurücklaufende Bewegung sich treffen, bildet den Schwingungsknoten. Die Geschwindigkeit, womit sowohl die tongebende als auch die schallleitende Welle sich bewegt, ist eine Function der in der Newton'schen Formel enthaltenen Gröfsen, und es müfste also die theoretische Schallgeschwindigkeit mit der durch Erfahrung gefundenen übereinstimmen; allein dieses ist unmöglich, denn die Gröfsen in dieser Formel sind für den Zustand der Ruhe genommen, ohne die Veränderung zu berücksichtigen, die durch die Bewegung hinzukommt. Heifst demnach V die theoretisch berechnete Geschwindigkeit, so ist $V = f(z)$, wenn z das Product aus der Elasticität und Fluidität der Luft, die man als die Bedingungen der Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit betrachtet, sowie sie sich im Zustande der Ruhe befindet, bezeichnet. Durch den Stofs des schwingenden Körpers oder der bereits erzeugten Luftwelle entsteht jedoch eine Verdichtung, mithin eine Vermehrung der Elasticität und der hierdurch bedingten Ge-

Fig. 159.

Digitized by Google

schwindigkeit der Bewegung[1], und es wird sonach f (z) in f (z + d z) verwandelt, weil sowohl die eigentliche Geschwindigkeit, als auch deren Vermehrung von den nämlichen Bedingungen abhängen. Diesemnach ist also $dz = \frac{1}{n} z$, und es fragt sich, wie grofs n anzunehmen sey. Um dieses zu bestimmen, mufs man berücksichtigen, dafs das gestofsene Element dem stofsenden vermöge seiner Elasticität und Fluidität, deren Product eben = f (z) ist, Widerstand leistet. Letzterer mufs überwunden werden, und da nach Newton *reactio aequalis actioni* ist, so mufs die Kraft im stofsenden Elemente so lange wachsen, bis sie zu dieser Ueberwindung fähig ist, zugleich aber kann diese Vermehrung nicht über diese Gröfse hinausgehn. Diesemnach kann also d z weder gröfser noch kleiner seyn, als z, und n ist = 1. Das stofsende Luftelement, dessen Kraft bis zur Gröfse z + d z gewachsen ist, mufs beim Rückgange der bewegenden Ursache mit gleicher Kraft zurückgehn (was ohnehin schon aus den Gesetzen der Pendelschwingungen folgt), und die Geschwindigkeiten der vor- und rückgehenden Wellen sind also einander ganz gleich. Hieraus folgt also nothwendig, dafs mit Beibehaltung der §. 70. gewählten Bezeichnung die theoretisch bestimmte Schallgeschwindigkeit

$$v = \sqrt{\left(\frac{2 g B}{\delta} \sqrt{2}\right)}$$

seyn müsse. Ist dieses gültig für 0° C. Temperatur und einen gewissen Werth der unter dem ersten Wurzelzeichen enthaltenen Gröfsen, so mufs es auch nach den vorhergehenden Betrachtungen für alle andere Fälle gültig seyn, da zur Prüfung und Vergleichung der durch Beobachtung gefundenen Werthe diese insgesammt auf diese Normalgröfse reducirt werden. Es ist demnach in metrischem Mafse

---

1 Zu gröfserer Deutlichkeit läfst sich sagen: das Element der Luftsäule, worin die erste den Schall erzeugende oder fortpflanzende Welle gebildet wird, kann dem Begriffe nach in seinem Zustande nicht verharren, wenn die Welle entstehn soll, sondern mufs eine Verdichtung oder Verdünnung erleiden (beides im Erfolge gleich). Es fragt sich also nur, wie grofs diese Veränderung und die hiernach in der veränderten Luft statt findende Schallgeschwindigkeit ist.

$2g = 9{,}8058$, log. $= 0{,}9914826$
$B = 0{,}76$, log. $= 0{,}8808136 - 1$
$\delta' = 10466{,}8$, log. $= 4{,}0198139$
$\sqrt{2}$, log. $= 0{,}1505150$

log. $V^2 = 5{,}0426251$
:2

log. $V = 2{,}5213125$, giebt 332,133.. Meter,

und in Pariser Fufsmafse

$2g = 30{,}186$, log. $= 1{,}4798138$
$B = 2{,}3396$, log. $= 0{,}3691449$
$\delta' = 10466{,}8$, log. $= 4{,}0198139$
$\sqrt{2}$, log. $= 0{,}1505150$

log. $V^2 = 6{,}0192876$
:2

log. $V = 3{,}0096438$, giebt 1022,45.. Fufs,

$\log. \frac{144}{443{,}296} = 0{,}5116687 - 1$

log. $V = 2{,}5213125$, giebt 332,133 Meter.

Nach Moll beträgt die durch Versuche gefundene Schallgeschwindigkeit bei 0° C. Temperatur und in trockner Luft, wie oben §. 67. erwähnt worden ist, im Mittel aus allen Versuchen 332,05 Meter in einer Secunde, nach der Berechnung von Simons unter gleichen Bedingungen §. 71. gleichfalls im Mittel 332,244 Meter; das arithmetische Mittel aus beiden beträgt 332,147 M.
Die theoretisch gefundene Schallgeschwindigkeit 332,133 M.

Unterschied 0,014 M.

Bei dieser unerwartet genauen und eigentlich vollkommenen Uebereinstimmung scheint mir die aus der Natur der Bewegungsgesetze elastischer Flüssigkeiten entnommene Hypothese zur Lösung des lange ventilirten Problems vollkommen hinzureichen[1].

1 La Place hat noch ein zweites allgemeines Theorem über die Fortpflanzung des Schalles sowohl in festen Körpern, als auch tropfbaren und expansibeln Flüssigkeiten aufgestellt, welches aus der Zusammendrückbarkeit der Körper entnommen ist und unten §. 89. zur nähern Untersuchung kommen wird. Dafs beide Theoreme dem Wesen nach identisch sind, hat bereits Tralles in G. LXV. 43.

Digitized by Google

c) Anderweitige Umstände, die bei der Fortpflanzung des Schalles durch atmosphärische Luft in Betrachtung kommen.

74) Dem Winde wird allgemein ein bedeutender Einfluſs auf den Schall beigemessen, welcher theils in einer Vermehrung seiner Geschwindigkeit, theils in einer Modification seiner Stärke bestehn soll. Berücksichtigen wir zuerst die Vermehrung seiner Geschwindigkeit, so pflegte man als naturgemäſse Folgerung zu betrachten, daſs der Schall sich um so viel geschwinder oder langsamer bewege, als die Geschwindigkeit des Windes betrage. Dieses wollten auch schon Derham und die Mitglieder der Pariser Akademie bei ihren ersten Versuchen [1] gefunden haben, nämlich daſs der Wind auf den Schall keinen Einfluſs habe, wenn beider Richtungen auf einander senkrecht seyen, dagegen beider Geschwindigkeiten addirt oder subtrahirt werden müſsten, wenn sie zusammenfielen oder einander entgegen wären. Gilbert [2] hat daher die schon von Derham [3] vorgeschlagene Methode, die Geschwindigkeit des Windes durch Schallversuche zu bestimmen, auf

---

gezeigt, auch kommen bei der wirklichen Berechnung bei beiden die nämlichen Gröſsen vor. Daſs dasselbe auch auf die Fortpflanzung des Schalles durch die Luft und Gasarten angewandt werden könne, behaupten La Place und Poisson ausdrücklich, indeſs hat man bloſs für feste Körper und tropfbare Flüssigkeiten bisher Gebrauch davon gemacht. Bei letztern bedarf man aber eines aus der ausgeschiedenen Wärme entnommenen Hülfsfactors nicht, um die Theorie mit der Erfahrung in Uebereinstimmung zu bringen, ungeachtet die Compression, namentlich der festen Körper, auf gleiche Weise Wärmeentbindung zur Folge hat, als die Compression der Luft, und es streitet daher gegen die Consequenz im Urtheilen, wenn man diese Bedingung bei der einen Formel annehmen, bei der andern aber vernachlässigen wollte. Herapath in Quarterly Journ. of Science, Lit. and Art. New Ser. N. XIII. p. 167. führt gleichfalls den oben genannten Factor in die Formel ein, um die Theorie mit der Erfahrung in Uebereinstimmung zu bringen, allein die Resultate über die Natur der Gasarten, aus denen er denselben folgert, sind bereits oben im Art. Gas Bd. IV. S. 1073. als unzulässig dargestellt worden; daſs aber seine Berechnung keine hinlänglich übereinstimmenden Gröſsen giebt, ist eine Folge zu geringer Genauigkeit der dabei benutzten Zahlenwerthe.

1 A. a. O.

2 G. XLIV. 209.

3 Phil. Trans. 1708. T. IX.

diejenigen Resultate angewandt, die die Pariser Akademiker bei ihren ersten Versuchen 1738 erhielten, allein hierbei war noch nicht auf die Temperatur Rücksicht genommen und daher ist das Ergebnifs ohne allen Werth. Goldingham glaubt gefunden zu haben, dafs ein starker Wind die Schallgeschwindigkeit um 9,3 par. Fufs in 1 Secunde vermehre, allein für eine solche Bestimmung sind seine Versuche keineswegs genügend. Galbraith[1] versucht den Einfluſs des Windes aus den zu Port Bowen angestellten Versuchen aufzufinden, gesteht aber selbst, dafs die erhaltenen Resultate unsicher seyen, was er für eine Folge der Mangelhaftigkeit der Beobachtungen hält. Bei den oben §. 67. erzählten Versuchen am Sklavensee glaubte Kendal bei einer Temperatur von — 35°,8 eine durch den Wind bewirkte Beschleunigung von 17,3 Fufs zu bemerken, bei — 41° F. aber betrug dieselbe 15,1 Fufs; allein die oben mitgetheilte Berechnung ergiebt nichts von einem solchen Einflusse des Windes, denn die beiden Resultate sind keineswegs kleiner als die übrigen. Merkwürdig ist eine Aeufserung Nicholson's[2], dafs man glauben solle, die Geschwindigkeit des Schalles werde durch den Wind verändert, die Stärke desselben aber nicht; allein die Erfahrung zeige gerade das Gegentheil. Die neuesten, mit gröfster Sorgfalt angestellten Versuche über die Schallgeschwindigkeit geben in Beziehung auf den Einfluſs des Windes keine Auskunft, und es bleibt daher auch die Frage unentschieden, ob man in dem Falle, wenn auf beiden Stationen geschossen und auch beobachtet wird, der Wind aber in der Richtung des Schalles weht, das arithmetische oder das geometrische Mittel nehmen müsse, um die eigentliche Geschwindigkeit des Schalles zu erhalten[3]. Delaroche[4] bemerkt schon, dafs es eine mifsliche Sache sey, die Geschwindigkeit des Windes zu der des Schalles zu addiren oder beide Gröfsen von einander abzuziehn, da die Schallwellen bei ihrer ungleich gröfseren Geschwindigkeit dem Winde bald vorauseilen müfsten, da letzterer schon sehr stark seyn müsse, wenn er 40 Fufs in 1 Se-

---

1 Philos. Magaz. or Ann. T. IV. p. 179.
2 Journ. of Nat. Philos. Nr. IX. G. III. 181.
3 S. Van Beek in Allgem. Konst en Letterbode. 1825. Nr. 19.
4 Ann. Chim. et Phys. T. I. p. 176. G. LVIII. 188.

Digitized by Google

cunde durchlaufe. Von noch gröfserem Gewichte aber ist Arago's Bemerkung bei Gelegenheit der Prüfung dieser Frage nach den letzten Versuchen der Pariser Akademiker, dafs der Wind nicht stets gleichmäfsig, sondern stofsweise wehe und man daher nicht wissen könne, mit welcher von diesen Bewegungen die Schallfortpflanzung zusammenfalle.

Als Resultat aller dieser Betrachtungen geht hervor, dafs zur genügenden Entscheidung dieser Frage noch abermalige Versuche erfordert werden, die leider so ausnehmend umständlich und schwierig sind, dafs man sobald nicht auf deren Realisirung hoffen darf. Wenn man aber berücksichtigt, dafs bei allen den Versuchen, durch welche die Geschwindigkeit des Schalles mit gröfster Genauigkeit ausgemittelt wurde, sich gar kein Einflufs des Windes zeigte, so dürfte man sich geneigt fühlen, diesen ganz zu bezweifeln. Dieses würde mit der Theorie übereinstimmen, wenn man annehmen müfste, dafs die den tönenden Körper nach allen Seiten umgebenden Schallwellen die Form, die sie einmal haben, allseitig beibehalten und unter andern nicht aus der Kreisform zur Gestalt der Ellipsen übergehn können; auf jeden Fall nämlich ist es eine falsche Ansicht, wenn man sich den Schall in einseitig gerader Richtung vom tönenden Körper zum Ohre des Hörenden fortgehend denkt, da er sich vielmehr in einer Sphäre von unbestimmter Ausdehnung verbreitet und sich das Ohr nur in einem Puncte derselben befindet.

Die Frage über den Einflufs des Windes auf die Stärke des Schalles ist kaum mit gleicher Aufmerksamkeit behandelt worden, als die eben erörterte, so allgemein man auch ohne nähere Prüfung anzunehmen pflegt, dafs der mit dem Winde sich bewegende Schall diesen bedeutend verstärke, so dafs er in dieser Richtung ungleich weiter gehört werde, als in der entgegengesetzten. Letzteres ist im Allgemeinen zwar richtig und mit der Erfahrung übereinstimmend, indem unter andern nach Meikle[1] das Auffliegen der Stobbs-Pulvermühle 1824 mit dem Winde auf 30 engl. Meilen Häuser erbeben machte, gegen den Wind aber auf 3 Meilen kaum gehört wurde; allein damit ist die Frage noch keineswegs vollständig beantwortet, indem diese rohen Beobachtungen über das Mafs und die Stärke

1 Edinb. Phil.-Journ. New Ser. N. VII. p. 105.

dieser Abnahme durchaus keine Auskunft geben. Eigentliche Versuche zur Entscheidung dieses Problems sind überall kaum vorhanden, indem man sich ganz gegen die sonstige Gewohnheit der physikalischen Forschungen bisher meistens mit den erwähnten allgemeinen Bestimmungen begnügte. Die ersten mir bekannt gewordenen Versuche sind von Haldat[1] zu Nancy angestellt worden. Er bediente sich hierzu einer kleinen Glocke, die im Freien noch auf 150 Meter gehört werden konnte, stellte verschiedene Personen abwechselnd so, dafs die Richtungen des Windes mit der des Schalles wechselnde Winkel bildeten, und suchte aus den gröfsten Entfernungen, in denen der Schall gehört wurde, den gesuchten Einfluſs auszumitteln. Um die Geschwindigkeit des Windes zu finden, wurde mit einer Secundenuhr die Zeit gemessen, welche leichte, in der Luft schwebende Körper gebrauchten, um eine bekannte Entfernung zu durchlaufen; die gemessenen Geschwindigkeiten liegen jedoch zwischen 1,5 und 2 Meter in 1 Secunde, geben daher keine umfassende Vergleichung, und aufserdem sind die Unterschiede der Resultate sehr bedeutend, was Haldat hauptsächlich vom Einflusse des Windstofses gegen das Ohr ableitet, was aber ohne Zweifel auch, mindestens zum Theil, eine Folge der intermittirenden und oft wechselnden Geschwindigkeiten des Windes ist. In genäherten Werthen verhielt sich die Entfernung, bis zu welcher der Schall über dem Winde gehört wurde, zu der, wohin er unter dem Winde gelangte, wie 1 zu 2 oder auch wie 1 zu 3, ebenso stark war das Verhältnifs bei diagonaler Richtung des Windes gegen die des Schalles, bei lothrechter aber zeigte sich gar kein Unterschied.

Genauer und umfassender sind die spätern Versuche von Delaroche[2] und Dünal. Sie wählten dazu zwei Uhrglocken von gleicher Stärke, die mit gleichen Hämmern gleich stark angeschlagen wurden, liefsen sie von Gehülfen so halten und anschlagen, dafs die sie verbindende Linie mit der Windrichtung verschiedene Winkel bildete, stellten sich dann zwischen dieselben in einer solchen ungleichen Entfernung, dafs der Schall beider einander gleich wurde, ein von der Photo-

1 Journ. de Phys. LXXIX. 235.
2 Ann. Chim. et Phys. T. I. p. 176.

Digitized by Google

metrie entlehntes Verfahren. Die Versuche wurden mehrmals wiederholt, mit verschiedenen Glocken und wechselnder Entfernung derselben von einander, auch dauerte jede Beobachtung so lange, dafs sie von der Gleichheit des Schalles beider überzeugt waren. Die Resultate, die auf diese Weise erhalten wurden, sind in der That überraschend. In der Nähe hat der Wind auf die Stärke des Schalles gar keinen Einfluſs, wenn z. B. der Abstand etwa 6 Meter nicht übersteigt. Dagegen zeigt sich derselbe sehr bedeutend, sobald die Entfernung gröfser wird, und wächst mit der Zunahme von dieser, jedoch so, dafs ein entgegenwehender Wind die Fortpflanzung des Schalles ausnehmend hindert, ein in seiner Richtung liegender aber sie gar nicht befördert, denn bei ruhiger Luft, oder wenn der Wind lothrecht auf die Richtung des Schalles stöfst, geht derselbe weiter, als mit dem Winde. Versuche hierüber werden noch durch den Umstand erschwert, dafs unbekannte Ursachen zuweilen die Stärke des Schalles ausnehmend vermindern, indem Delaroche einige Male von zwei ungleich entfernten Glocken abwechselnd blofs die eine überhaupt oder beide mit sehr verschiedener Stärke hörte.

Würde erfordert, über das hier beschriebene Verhalten eine Erklärung aufzustellen, um sie mit anderweitigen Naturgesetzen in Einklang zu bringen, so möchte ich sagen, das Widersprechende liegt blofs in der falschen Vorstellung, die man sich vom Winde macht, wenn man sich ihn blofs als ein ruhiges Fortflieſsen der Luft denkt. Indem vielmehr jede Flüssigkeit, sobald sie bei ihrer Bewegung Hindernisse zu überwinden hat, sich wellenförmig bewegt, so folgt dieses auch als nothwendig bei der Luftbewegung im Winde. Die hiernach also statt findenden Luftwellen, als die gröberen und langsameren, können daher die ungleich feineren und schnelleren des Schalles auf keine Weise befördern, weil sie durch die letzteren, auch wenn sie in der nämlichen Bahn liegen, gleichsam durchsetzt werden, die ihnen stets vorauseilen; kommen beide aber einander entgegen, so kann dieses auf eine kurze Strecke gar keinen oder keinen merklichen Einfluſs haben, wohl aber auf einer längeren, wo zufällig mehrmals die Wellenberge und Wellenthäler beider zusammenfallen und sich ausgleichen oder schwächen müssen.

Digitized by Google

Englefield[1] gelangte durch seine im Jahr 1773 zu Brüssel beim Läuten der grofsen Glocke der St. Gudula-Kirche angestellten Versuche zu dem Resultate, dafs die Vibrationen eines so stark tönenden Körpers ein Sinken des Barometers um etwa 0,006 Zoll verursacht haben. Thom. Young leitet diese Wirkung von den mechanischen Luftbewegungen ab, die durch die Glocke in gröfserer Stärke beim Tönen erzeugt worden seyn könnten, als vorher bei ihren Schwingungen mit festgeklemmtem Klöpfel. Benzenberg[2] hat durch seine absichtlich angestellten Versuche zur Evidenz dargethan, dafs der Schall an sich und in Folge der durch ihn bewirkten Modification der Luft keinen Einflufs auf das Barometer äufsere, die oft sich zeigenden Schwankungen aber eine Folge der Erschütterungen sind, die den Thürmen durch die schweren Glocken mitgetheilt werden.

75) Die Dichtigkeit der Luft hat einen grofsen Einflufs auf die Fortpflanzung des Schalles, indem seine Geschwindigkeit zwar mit der Verdünnung der Luft zunimmt, seine Intensität oder Stärke aber abnimmt. Der Schall ist demnach am stärksten bei hohem Barometerstande, bei heiterer, dampf- und dunstfreier Luft und bei niedriger Temperatur. Zahlreiche Erfahrungen bestätigen diese aus der Theorie folgenden Sätze. Vorzügliche Gelegenheit zu Beobachtungen dieser Art hatte von Zach[3] auf der isolirt und hoch liegenden Sternwarte Seeberg, und er bemerkte daher, dafs bei heiterer, ruhiger und nicht feuchter Luft, wenn die Sterne mit gleichmäfsiger, nicht schwankender Bewegung durch das Feld seines Passagen-Instruments gingen, die Glocken der umliegenden Kirchthürme, das Geräusch der Mühlen, das Bellen der Hunde und Rufen der Nachtwächter ausnehmend deutlich und stark gehört wurden, statt dafs alle diese gar nicht oder nur dumpf wahrnehmbar waren, wenn die Sterne zitterten. Ein sehr auffallendes Beispiel der Stärke, womit der Schall bei hohen Kältegraden fortgepflanzt wird, liefert die Beobachtung von

---

1 Aus Journal of the Royal Institution. T. I. in Gilb. XIV. 214.

2 G. XXXIX. 129.

3 Allgem. geogr. Ephemer. 1798. Th. I. S. 499. Daraus in G. LVIII. 153.

Digitized by Google

Foster[1], welcher sich zu Port Bowen bei — 18° F. (— 28° C.) Temperatur mit einem 6696 engl. Fufs entfernten Manne sehr gut unterhalten konnte, wobei jedoch die in jenen öden Gegenden herrschende Stille sicher nicht ohne Einflufs war. Zusammenhängend hiermit ist die Beobachtung von Hawksbee[2], dafs der Schall eines Weckers unter dem Recipienten so viel schwächer wurde, je stärker er exantlirte, und die interessante von John Roebuck[3] im Gebläsekasten des Hochofens zu Devonshire, dafs der Schall in der verdichteten Luft so ausnehmend verstärkt wurde. De Saussure[4] beobachtete auf dem Mont-Blanc, dafs eine abgeschossene Pistole nicht stärker tönte, als ein kleines Taschen-Terzerol in der Ebene. Andere Beobachtungen auf hohen Bergen stimmen hiermit vollkommen überein. Um so merkwürdiger ist das starke Getöse, welches Feuerkugeln erzeugen, die im Verhältnifs zu den genannten Erscheinungen in wahrhaft unermefslichen Höhen explodiren. Der Schall, welchen das 1719 in 69 engl. Meilen Höhe nach Halley's[5] Messung zerplatzende Meteor erzeugte, glich dem einer Kanone von schwerem Kaliber, machte Thüren und Fenster zittern, so dafs ein Fernrohr auf der Sternwarte zu Greenwich aus seiner Nische stürzte und zerbrach; ein anderes Meteor 1783 wurde als ein tief dröhnender Donner gehört, obgleich seine Höhe nach Blagden[6] volle 50 engl. Meilen betrug, und ebenso stark war der Schall bei dem Meteore am 17. Juli 1771 zu Paris, dessen Höhe Le Roy[7] auf 20598 Toisen oder ungefähr 25 engl. Meilen berechnet. Mehrere ähnliche Beispiele liefsen sich von andern Feuerkugeln anführen, wenn ihre Höhe wegen des unerwarteten Erscheinens nicht meistens unbekannt wäre.

76) Dafs der Schall bei Nacht ungleich stärker sey, als am Tage, ist eine sehr gemeine Erfahrung, und man pflegt

---

1 Journ. of a third Voyage for the discovery of a North-West passage cet. under the Orders of Capt. W. E. Parry. Lond. 1826. 4. p. 58.

2 Phil. Trans. 1705.

3 Edinb. Phil. Trans. T. V. p. 84. G. IX. 45.

4 Voyage dans les Alpes. T. VII. p. 337. §. 2020.

5 Phil. Trans. T. XXX. p. 978.

6 Philos. Trans. 1784.

7 Mém. de l'Acad. 1771. p. 668.

eben deswegen die feineren Schallversuche bei Nacht anzustellen. Auffallend zeigt sich dieses bei den Fufstritten gehender Personen, hauptsächlich aber beim Nagen der Mäuse, was bei Nacht ein auffallendes Getöse erregt, wenn es bei Tage auch nicht bedeutend stark zu seyn scheint. Nicholson[1] führt als Beispiel an, dafs man auf der Westminsterbrücke die Stimmen der Arbeiter in der 3 engl. Meilen entfernten Fabrik zu Battersea und das Rufen der Schildwachen von Portsmouth 4 bis 5 engl. Meilen weit zu Ride auf der Insel Wight bei Nacht deutlich höre. Einige Beobachtungen, die er über das Schlagen einer Uhr während der Nacht bei völliger Stille oder beim gleichzeitigen Vorüberfahren eines Wagens anstellte, brachten ihn zu der Ueberzeugung, dafs dieser Unterschied blofs von der gröfseren Stille herrühre, indem die Nerven des Ohrs durch keinen sonstigen Eindruck gereizt werden, und dieses Verhalten also damit übereinkomme, dafs auch die Nerven des Auges durch einen bereits vorhandenen Lichteindruck weniger empfindlich werden.

Am vollständigsten hat A. von Humboldt[2] diesen Gegenstand untersucht und dabei die zahlreichen Erfahrungen benutzt, die sich ihm auf seinen weiten Reisen darboten. Er bemerkt, dafs schon den Alten diese Beobachtung nicht entgangen sey, da Aristoteles[3] und Plutarch[4] ihrer gedenken. Dem Anscheine nach wird der Schall bei Nacht mehr in der Ebene, als auf Bergen von etwa 3000 Meter Höhe verstärkt, mehr auf dem Lande als auf der See. Dafs der Schall sich leichter in die Höhe als nach der Tiefe hin verbreitet, wird allgemein angenommen und stimmt ganz mit dem von Poisson[5] theoretisch gefundenen Resultate überein, wonach seine Intensität von der Dichtigkeit derjenigen Luftschicht abhängt, in welcher er entsteht. Das Getöse der Wasserfälle des Oronoco schien zu Atures bei Nacht dreimal so stark als am Tage, und ebendieses zeigte sich hinsichtlich des Getöses

---

1 Journ. of Nat. Philos. N. IX. G. III. 186.

2 Tableau de la Nature. T. II. p. 216. Ann. Ch. et Phys. T. XIII. p. 162. Daraus in G. LXV. 31.

3 Problem. Sect. XI. qu. 5. §. 33. Opp. ed. du Val. 1639. T. II. p. 115.

4 Sympos. L. VIII. c. 3. Ed. Par. 1624. T. II. p. 721.

5 Journ. de l'École pol. Cah. XIV. p. 328.

Digitized by Google

der Vulcane. Dafs die Stille der Nacht die Ursache seyn solle, glaubt v. Humboldt nicht, weil in jenen öden Gegenden das Summen der zahllosen Insecten bei Nacht stärker sey, als am Tage, und der Wind stets erst nach Sonnenuntergang wehe. Vielmehr soll die Ursache in der Einwirkung der Sonne auf die Luftschichten liegen, indem einzelne erwärmte Schichten und Lagen mit anderen kältern wechseln, wärmere in kältern aufsteigen und sich über sie lagern, so dafs also der Schall aus dichtern in dünnere Medien und umgekehrt übergeht, was seine Stärke allerdings vermindern würde, während der gleichmäfsigen Temperatur der Nacht aber wegfällt. Merkwürdig ist hierbei die Analogie zwischen dem Verhalten des Lichts und des Schalles, indem die Bewohner der Alpen und Anden die Verstärkung des Schalles während einer ruhigen Nacht für ein Vorzeichen bevorstehender Wetterveränderung halten, ebenso wie das helle Blinkern der Sterne. Zanotti[1] sucht die Ursache in einer gröfsern Dichtigkeit der kühlern Luft, Delaroche[2] aber findet keine der genannten Ursachen genügend und stellt es blofs als fraglich hin, ob vielleicht eine ähnliche Modification der Luft, als diejenige, wodurch auch bei Tage der Schall zuweilen verstärkt wird, etwa eine Veränderung ihres hygrometrischen und elektrischen Zustandes, Ursache dieser Erscheinung sey.

77) Ständen nicht A. v. Humboldt's Erfahrungen entgegen, so müfste man unbedenklich der allgemein angenommenen Erklärung dieser Erscheinung von Nicholson beipflichten[3]. Inzwischen glaube ich, dafs bei näherer Betrachtung die anscheinenden Schwierigkeiten wegfallen werden. Die Verstärkung des Schalles bei Nacht ist einmal nicht zu bezweifelnde Thatsache; in welchem Verhältnisse dieselbe aber wächst, ist keineswegs genau bestimmt. Von Humboldt schätzt sie selbst auf den Anden auf das Dreifache, ich möchte jedoch dieses noch für zu gering halten, obgleich es wohl unmöglich ist, ein genaues Mafs hierfür aufzufinden. Die Verstärkung des Schalles bei Nacht findet auch in Häusern und Zimmern statt, wo weder eine Abkühlung noch eine

---

1 Comment. Bonon. T. I. p. 173.
2 G. LVIII. 152.
2 Biot's gleichfalls hierfür zeugende Beobachtungen s. §. 83.

Digitized by Google

Mischung ungleich dichter Luftmassen anzunehmen ist und nicht wohl eine andere Ursache, als die von Nicholson angegebene, wirksam seyn kann. Hiernach scheint mir diese letztere die in den meisten Fällen und am stärksten wirkende zu seyn, wo sie aber nicht statt finden kann, z. B. in den durch v. Humboldt erzählten Erscheinungen, ist ohne Zweifel die von diesem scharfsinnigen Forscher angegebene wirksam; ohne allen Einfluſs ist auch die gröſsere Kälte bei Nacht nicht, beides mit anderweitigen Erscheinungen völlig übereinstimmend, und endlich scheint mir eine bisher nicht beachtete Ursache hinzuzukommen, nämlich der Einfluſs der verschiedenen Sinne auf einander. Je weniger bei Nacht der Sinn des Gesichts beschäftigt ist, um so mehr tritt die Thätigkeit des Gehörs hervor, wie man dieses allgemein bei den Blinden wahrnimmt. Wie bedeutend diese Wirkung sey, ist nicht wohl auszumitteln, da sich dieses durch ein Verschlieſsen der Augen nicht auffinden läſst; ein Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht liegt jedoch auch in dem Umstande, daſs man bei erregter Aufmerksamkeit viel stärker hört, als wenn der Geist mit anderweitigen Dingen beschäftigt ist.

78) Obgleich der Schall eigentlich durch die Luft fortgepflanzt wird, so hat doch der Boden, über welchem die Luft ruht, oder es haben die Wände, zwischen denen die Luft eingeschlossen ist, einen entschiedenen Einfluſs auf die Stärke dieser Fortpflanzung, ebenso wie dieses hinsichtlich der Resonanz und der hierfür geeigneten Construction der Concertsäle und Opernhäuser bereits oben §. 44. erwähnt worden ist. Berücksichtigen wir zuerst die Beschaffenheit des Bodens, so ist zwar nicht jederzeit genau auszumitteln, ob der Boden selbst in Schwingungen versetzt wird und also hierdurch die Fortpflanzung des Schalles befördert, oder ob bloſs die gröſsere Stabilität, welche die über demselben ruhende Luft erhält, als Ursache hiervon zu betrachten ist. Nach den Untersuchungen der französischen Akademiker im Jahre 1738 hat der Boden auf die Fortpflanzung des Schalles an sich keinen Einfluſs, wenn nicht zwischenliegende Hügel, Städte oder sonstige Erhabenheiten seinen Fortgang hindern[1]. Einen ähn-

1 G. XLIV. 190.

Digitized by Google

lichen störenden Einfluſs soll nach Fröhlich[1] eine Schneedecke erzeugen, auch nimmt man als ausgemacht an, daſs Nebel und Trübung der Luft den Fortgang des Schalles hemmen. Im Ganzen genommen giebt es jedoch keine Erfahrungen, die über einen Einfluſs des Bodens auf die Leichtigkeit der Schallfortpflanzung entscheiden, und der Einfluſs der Witterung, selbst des Windes, auf die Stärke desselben bleibt mindestens sehr zweifelhaft. Kircher[2] behauptet zwar, daſs südliche und westliche Winde, Nebel und Trübung des Himmels den Schall schwächen, Derham[3] dagegen führt so widersprechende Resultate hierüber an, daſs es unmöglich ist, danach zu irgend einer Entscheidung zu gelangen. Ebendieses ist der Fall bei den zahlreichen und unter den verschiedensten Bedingungen angestellten, auch vielfach modificirten Versuchen der Pariser Akademiker[4] im Jahre 1738. Der Schall verbreitet sich ferner zwar rund um den schallenden Körper, jedoch ist er stärker in derjenigen Richtung, in welcher die ursprünglich erzeugten Schallwellen fortgestoſsen werden. Man versteht daher einen Redenden besser, wenn er mit dem Gesichte zugewandt, als wenn er abgewandt ist, besser wenn er eine Wand oder eine sonstige gröſsere Fläche hinter sich hat, als wenn er nach allen Seiten frei steht. Dahin gehören ferner die Schalldeckel der Rednerbühnen und Kanzeln. Chladni[5] bemerkt, daſs eine gestrichene Scheibe stärker tönt, wenn sich das Ohr oberhalb derselben als mit ihr in einer Ebene befindet. Vorzüglich leicht und stark soll der Schall über eine Wasserfläche fortgepflanzt werden. Hutton[6] stellte auf der Themse Versuche hierüber an und fand, daſs die Stimme eines Lesenden über der Wasserfläche auf 120 Fuſs ebenso deutlich vernommen wurde, als auf dem Lande bei 76 F. Entfernung. Den Seefahrern soll dieser Unterschied wohl bekannt seyn, auch will man bemerkt haben, daſs im Theater Argentino zu Rom, nachdem ein Wasserca-

---

1 Ebend. S. 403.

2 Phonurgia nova. Cum fig. Campidonae 1673. fol.

3 Phil. Trans. 1708. T. XXIX.

4 S. deren Zusammenstellung mit Anmerkungen von Gilbert in dessen Ann. XLIV. 177.

5 Akustik. S. 234.

6 Dictionary. T. II. p. 414.

Digitized by Google

nal unter dem Fufsboden angelegt worden war, die Stimme eines Redenden bis zu einer Entfernung sehr deutlich gehört wurde, wohin sie vorher nicht gelangte. Auch Mauern befördern sehr den Fortgang des Schalles, ebenso wie ein Boden von Steinen. Hutton beobachtete, dafs man an einem Theile der Gartenmauer zu Kingston in Dorsetshire ein leises Flüstern bis auf 200 Fufs Entfernung deutlich hörte.

79) Dafs die Stärke des Schalles mit der Entfernung abnehme, ist unbestreitbar, nach welchem Gesetze aber diese Abnahme erfolge, ist keineswegs mit derjenigen Genauigkeit bestimmt, die in den meisten übrigen physikalischen Thatsachen herrscht, und die Ursache hiervon liegt ohne Zweifel in der Schwierigkeit, ein genaues *Sonometer* oder einen Apparat zu construiren, vermittelst dessen die Stärke des Schalles mit hinlänglicher Schärfe gemessen werden könnte. Das beste Verfahren ist ohne Zweifel dasjenige, dessen sich Delaroche (§. 74.) bediente, nämlich das Ohr zwischen zwei tönende Körper in diejenige Entfernung zu bringen, in welcher die Stärke des Schalles beider gleich ist; allein wenn es auch leicht seyn mag, zwei gleich stark tönende Körper zu erhalten, so genügt dieses zu Messungen der Art doch nicht, vielmehr ist erforderlich, zwei von ungleicher, aber genau bestimmter Stärke zu haben, um dann die Abstände zu finden, in denen beide gleich sind, und diese Aufgabe ist bis jetzt noch nicht gelöst worden. Aufserdem folgt aus den bisherigen Betrachtungen, dafs verschiedene anderweitige Bedingungen auf die Abnahme des Schalles einen unverkennbaren Einfluſs haben, und es bleibt demnach unbestimmbar, wie grofs die Wirkung der Entfernung für sich allein sey. Obgleich es daher insbesondere nach der Analogie mit der Verbreitung des Lichts höchst wahrscheinlich ist, dafs auch der Schall den Quadraten der Entfernung proportional abnimmt, so ist dieser Satz doch keineswegs durch die Erfahrung hinlänglich bestätigt worden und die Aussprüche hierüber beruhen daher noch zur Zeit blofs auf theoretischen Gründen. Schlimm ist es im Allgemeinen, dafs für diese Bestimmungen jederzeit das Ohr als Mefsapparat dienen mufs, da das Messen vermittelst der Sinne jederzeit einen hohen Grad der Ungewifsheit zurückläfst.

80) Die absolute Entfernung, bis zu welcher der Schall durch die Luft fortgepflanzt werden kann, ist insofern schwer

Digitized by Google

bestimmbar, als sie nach der Stärke desselben verschieden seyn mufs, die Schwierigkeit wird aber dadurch ganz unüberwindlich, dafs tropfbare Flüssigkeiten und feste Körper bessere Leiter sind und man daher in keinem Falle entscheiden kann, welchen Antheil die letztern an der Fortpflanzung haben. Alle hierüber vorhandene, gröfstentheils nicht einmal genaue Angaben können daher blofs zu einer ungefähren Uebersicht der Sache dienen, weswegen ich nur die vorzüglichsten zur Vergleichung hier erwähne.

Im Allgemeinen darf man annehmen, dafs der Schall leichter nach oben als nach unten fortgepflanzt werde, mindestens geschieht dieses dann, wenn die Höhe so beträchtlich ist, dafs an beiden Orten eine ungleiche Dichtigkeit der Luft statt findet, wonach dann der Schall leichter aus einem dichtern Medium in ein dünneres übergeht, als umgekehrt. Aufserdem folgt dieses aus der in der Regel aufwärts gehenden Bewegung der Luft, und endlich darf man den festen Boden als einen die Schallwellen aufwärts treibenden Resonanzboden betrachten. Hiermit stimmen die Resultate der Beobachtungen überein, wenn man auch die Angaben von Robertson, Garnerin und Fröhlich nach Gilbert's[1] richtiger Ansicht als keiner Beachtung werth betrachtet. Als entscheidend können dagegen die Erfahrungen gelten, die Saussure[2] und Schultes[3] hierüber gemacht haben, woraus hervorgeht, dafs der Schall sehr leicht auf weite Strecken vom Fufse bis zur Spitze hoher Berge gelangt, in entgegengesetzter Richtung aber ausbleibt; anderer ähnlicher Wahrnehmungen nicht zu gedenken. Eine der interessantesten unter diesen ist die, dafs man zu Carisbrook Castle unweit Newport das Auffallen einer Stecknadel auf die Wasserfläche eines Brunnens von 210 engl. Fufs Tiefe und 12 F. Durchmesser deutlich hört. Diese Schallverstärkung soll durch die eben gestrichene innere Fläche des Mauerwerks bei diesem Brunnen befördert werden[4].

Beispiele sehr grofser Entfernungen, bis zu denen eine starke Mannsstimme drang, sind bereits oben §. 75. und 76.

---

1 G. XVI. 21. 25. 31. 276.
2 Reisen Th. IV. S. 207. 288.
3 G. XX. 250.
4 Encyclop. Metrop. Art. Sound. p. 751.

angegeben worden, nämlich das Rufen der Schildwachen von Portsmuth bis Ride auf der Insel Wight auf etwa 4500 F. und die ungewöhnlich weite Distanz von 6696 engl. Fuſs bei den Versuchen zu Port Bowen. Ganz unglaublich ist die Angabe Derham's, die Thom. Young[1] mittheilt, daſs zu Gibraltar die menschliche Stimme weiter als 10 engl. Meilen (2 geogr.) gehört worden sey. In den meisten, wo nicht in allen Fällen aber, wenn die Fortpflanzung des Schalles auf grofse Entfernungen beobachtet wurde, ist man nie von dem Antheile versichert, welchen die Erde und das Wasser daran nahmen. Gehler[2] führt an, daſs man die zu Florenz abgefeuerten Kanonen 50 ital. Meilen weit zu Livorno und noch 5 Meilen weiter, bei der Belagerung von Genua aber auf 90 ital. Meilen über das Meer hin hörte; allein neuere Beispiele geben ungleich gröfsere Resultate. So hörte man unter andern 1792 die Kanonaden von Mainz auf der Hube bei Einbeck etwa 33 geogr. Meilen weit sehr deutlich, aber ohne Zweifel vermittelst der Fortleitung durch die Erde, im Jahr 1809 die Schüsse bei Helgoland zu Hannover auf etwa 35 geogr. Meilen, und, was wohl das Stärkste ist, am 4. Dec. 1832 die Kanonade von Antwerpen im sächsischen Erzgebirge, also bis 80 geogr. Meilen weit[3], welches also noch diejenige Entfernung übertrifft, die bisher für die stärkste gehalten wurde, nämlich daſs die Explosionen des Vulcans St. Vincent bis Demerary, also auf 300 engl. Seemeilen oder 75 geogr. Meilen gehört wurden[4].

81) Die genaue Auffindung der Schallgeschwindigkeit in der Luft hat zunächst und hauptsächlich nur wissenschaftlichen Werth. Allerdings ist diese Bestimmung jetzt mit so grofser Genauigkeit aufgefunden, daſs man dieselbe umgekehrt zur Messung von Entfernungen anwenden könnte, wenn dieses Mittel nicht meistens mit zu grofsen Schwierigkeiten verbunden wäre und daher nicht leicht absichtlich hierzu gewählt werden kann. Die vortheilhafteste Anwendung desselben läſst sich jedoch machen, wenn daran gelegen ist, die Entfernung

---

1 Young Lectures T. II. p. 266.
2 A. A. IV. 814.
3 Leipz. Zeitung.
4 Ann. of Phil. 1816. Jan. p. 3.

Digitized by Google

des schweren Geschützes zu erforschen, in welchem Falle es blofs einer genauen, Theile von Secunden angebenden, Uhr bedarf; in genähertem Werthe läfst sich auch die Entfernung des Blitzes und einer zerplatzenden Feuerkugel hiernach bestimmen. Die hierzu erforderliche Berechnung ist ausnehmend leicht. Heifst nämlich die normale Schallgeschwindigkeit $= V = 332{,}133$ Meter oder 1022,5 Fufs, und nennt man die nach der Temperatur corrigirte

$$V' = V\sqrt{1 + 0{,}00375\,t},$$

wenn t in Centesimalgraden bekannt ist (wofür man auch genähert 1,926 par. F. für 1° C. addiren kann), so findet man die Entfernung

$$E = V' \times T,$$

wenn T die Zeit in Secunden bezeichnet. Will man jedoch von dem für E aus der Zwischenzeit zwischen dem Blitze und dem Donner gefundenen Werthe auf die Entfernung des Gewitters schliefsen, so ist dieses trüglich, weil zwar die Entfernung des beobachteten Blitzes genau hierdurch gefunden werden kann, das Gewitter im Ganzen aber oft eine so grofse Ausdehnung hat, dafs es in sehr bedeutenden Abständen von einander abwechselnd aus demselben blitzen kann.

Newton[1] hat das Problem aufgestellt, aus der bekannten Fallgeschwindigkeit der Körper und der Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung durch die Luft die Tiefe eines Brunnens vermittelst eines hineingeworfenen schweren Körpers und der beobachteten Zeit vom Anfange seines Falles bis zur Wahrnehmung des Schalles zu messen. Seine Auflösung ist mit veränderten Bezeichnungen folgende. Nach den Fallgesetzen ist $s = t^2 g$, wenn s den Raum, t die Zeit und g den Fallraum in einer Secunde bezeichnet; nach den Gesetzen der Schallfortpflanzung ist $V' t$ der vom Schalle durchlaufene Raum, wenn V' die corrigirte Geschwindigkeit und t die Zeit in Secunden bezeichnet. Ist dann x die unbekannte Tiefe des Brunnens und t' die Zeit, die der Körper gebraucht, um hinabzufallen, t'' aber diejenige Zeit, die erfordert wird, bis der Schall

---

1 Arithmetica universalis. Prob. L. Vergl. Kaestner Mathem. Abhandl. vermischten Inhalts. Erfurt 1794. Nr. 4.

wieder an der Oberfläche anlangt, so ist $\sqrt{\frac{x}{g}} = t'$ und $\frac{x}{V'} = t''$, weil aber $t' + t'' = t$ ist, so erhält man $\sqrt{\frac{x}{g}} + \frac{x}{V'} = t$, woraus x vermittelst einer quadratischen Gleichung gefunden wird. Man erhält nach gehöriger Reduction

$$x = vt + \frac{v^2}{2g} - \frac{v}{g}\sqrt{(4gvt + v^2)},$$

eine nicht logarithmische Formel, wonach ich jedoch früher einmal die zugehörigen Werthe für gegebene Zeiten bis auf Viertel-Secunden von 1 bis 10 Secunden berechnet habe[1], indem ich g = 15 par. F. und v = 1046 F. aus Rücksichten auf die höhere Temperatur annahm. Da diese Rechnungen mühsam sind und man doch zuweilen Gebrauch davon machen könnte, so möge die Tabelle hier Platz finden.

---

1 G. XLII. 898.

Digitized by Google

Zeit Sec.	Tiefe par. F.	Unterschied par. F.	Zeit Sec.	Tiefe par. F.	Unterschied par. F.
1,50	33,10	11,40	6,00	464,40	36,19
1,75	44,50	13,00	6,25	500,59	37,74
2,00	57,50	14,64	6,50	538,33	38,90
2,25	72,14	16,18	6,75	577,23	40,04
2,50	88,32	17,71	7,00	617,27	41,20
2,75	106,03	19,22	7,25	658,46	42,27
3,00	125,25	20,69	7,50	700,73	43,40
3,25	145,94	22,16	7,75	744,13	44,47
3,50	168,10	23,58	8,00	788,60	45,54
3,75	191,68	24,96	8,25	834,14	46,58
4,00	216,64	26,36	8,50	880,72	47,61
4,25	243,00	27,69	8,75	928,33	48,63
4,50	270,69	28,94	9,00	976,96	49,64
4,75	299,63	30,43	9,25	1026,60	50,63
5,00	330,06	31,61	9,50	1077,23	51,60
5,25	361,67	32,86	9,75	1128,83	52,57
5,50	394,53	34,17	10,00	1181,40	53,54
5,75	428,70	35,70	10,25	1234,93	

Dafs diese Werthe auf absolute Genauigkeit keine Ansprüche machen können, versteht sich wohl von selbst, auch wenn man den Einfluſs der Temperatur als berücksichtigt annimmt, weil der Widerstand gegen die Luft ganz vernachlässigt ist; inzwischen sind die Bestimmungen insoweit hinlänglich genähert, als für diesen Zweck, hauptsächlich bei nicht sehr grofsen Tiefen, gefordert zu werden pflegt.

82) Eine der merkwürdigsten Modificationen der in der Luft fortgehenden Schallwellen sind die Interferenzen derselben, die bei ihnen auf ganz gleiche Weise als bei den Lichtwellen statt finden. Das Phänomen wurde zuerst durch Virth[1] wahrgenommen oder bekannt gemacht, indem er zufällig fand, dafs das Nachklingen eines tönenden Körpers, wozu man eine Scheibe, einen gläsernen oder metallenen Stab, am bequemsten eine Stimmgabel, nehmen kann, in einer gewissen Richtung gegen das Ohr verschwindet. Hiernach vermuthete er, dafs das Ohr auf gleiche Weise eine unempfindliche Stelle haben müsse, als diese für das Auge durch Mariotte[2] nachgewiesen

1 G. XVII. 117.
2 S. *Gesicht*. Bd. IV. S. 1369.

ist. Hällström[1] setzte diese Untersuchungen weiter fort, bediente sich dazu meistens einer tönenden Scheibe und fand, dafs die Schallwellen in einigen Richtungen wirklich fehlen, man also nicht annehmen könne, dafs sie der bis dahin herrschenden Ansicht gemäfs sich rings um den tönenden Körper gleichmäfsig nach allen Richtungen verbreiteten. Die Gebrüder E. und W. Weber[2] entdeckten bei ihren akustischen Untersuchungen das Phänomen gleichfalls, ohne anscheinend von den frühern Beobachtungen Kenntnifs zu haben, und verfielen sogleich auf die richtige Ansicht, dafs die Erscheinung zu denjenigen gehöre, die Fresnel unter dem Namen der *Interferenzen* beim Lichte untersucht habe. Chladni[3] gab dann das sinnreich ausgedachte Mittel an, das Phänomen selbst deutlicher zu beobachten und andern wahrnehmbar zu machen, indem man ein gewöhnliches, am besten ein bauchiges Medicinglas durch hineingegossenes Wasser genau auf den Ton der Stimmgabel stimmt, wie man durch Hineinblasen prüfen kann, dann die Gabelzinke in horizontaler Richtung über ihre Oeffnung hält und um ihre Axe dreht, wobei der Schall sein Maximum erreicht, wenn sich die Flächen über der Oeffnung befinden, und verschwindet, wenn die Kanten in einer gewissen Lage dieser entgegengerichtet sind. Ist die Stimmgabel von vorzüglicher Güte, so dafs sie stark und lange Zeit anhaltend nachtönt, so kann dieser Wechsel mehrmals wiederholt werden, man kann jedoch auch mit schlechtern das Phänomen sowohl auf diese Weise wahrnehmbar machen, als auch dadurch, dafs man die Zinke in verticaler Richtung einen oder höchstens etliche Zoll vom Ohre entfernt abwechselnd um ihre Axe dreht. Eine andere, gleichfalls durch Chladni[4] vorgeschlagene Methode, die Schallwellen und selbst auch die Interferenzenlinien dem Auge sichtbar zu machen, besteht darin, dafs man einen tönenden Stab oder die Zinke (auch beide) einer tönenden Stimmgabel mit der Oberfläche von Wasser in Berührung bringt, über welche etwas Lycopodiumpulver ge-

---

1 Explicatio phaenomeni acustici a cel. Vieth nuper descripti. Praes. G. Hällström, Resp. Iuberg. Aboae 1805. Daraus in G. XXV. 90.

2 Wellenlehre S. 507.

3 Schweigg. Journ. XLVI. S. 108.

4 Kaestner Arch. VII. S. 233.

Digitized by Google

streut ist, W. Weber aber machte sie noch deutlicher sichtbar, indem er die Zinke einer Stimmgabel dicht über eine Membrane brachte, die auf einem quadratischen Rahmen straff ausgespannt war. Am besten war der Erfolg, wenn sie parallel mit der Diagonale der ausgespannten Membrane gehalten wurde[1].

W. Weber[2] hat später das Phänomen einer genauern, tiefer eingehenden Untersuchung unterworfen, deren Resultate oben[3] bereits mitgetheilt worden sind. Es ergiebt sich hieraus, dafs zur Erzeugung der hyperbolisch gekrümmten Interferenzenlinie nothwendig die eine Welle der andern um einen aliquoten Zeittheil vorauseilen mufs, damit die Erhabenheiten der einen mit den Vertiefungen der andern zusammenfallen, wenn man mit Weber annimmt, dafs die durch die vordere Seite der Zinke erzeugten Wellen durch diejenigen geschnitten werden, die durch den Impuls der hintern ihren Ursprung erhalten. Weber selbst läfst die Frage unentschieden, woher diese Verspätung rühre, Brandes aber meint, durch die Compression bei Erzeugung der ersten Welle werde nach La Place's Theorie Wärme ausgeschieden und hierdurch die erforderliche Beschleunigung bewirkt. Allein nicht zu rechnen die Argumente, die oben §. 72. gegen diese Theorie vorgebracht worden sind und in diesem Falle auf gleiche Weise insofern ihre Anwendung finden müfsten, als die Verdichtungswellen bei schnellerer Bewegung einem höhern, die Verdünnungswellen aber bei langsamerer einem tiefern Tone zugehören würden, ist gar nicht abzusehn, warum gerade die erste Welle eine gröfsere Geschwindigkeit, als die nachfolgenden, haben sollte, da doch alle dem nämlichen Tone zugehören und die Geschwindigkeit aller durch die Vibrationen des tönenden Körpers bedingt wird, dessen Ton sie fortleiten. Inzwischen läge die Ursache weit näher, wenn man der Ansicht Weber's folgen wollte, wonach die Interferenzlinien in den Durchschnittspunkten der Wellen liegen sollen, die von beiden entgegengesetzten Flächen der Zinke erzeugt sich schneiden, denn indem die Zinke sich in der Durchschnittsebene durch ihre Län-

1 Schweigg. Journ. Th. L. S. 247.
2 Schweigg. Journ. XLVIII. S. 385.
3 S. *Interferenz.* Bd. V. S. 773.

genaxe hin und her bewegt, entsteht von selbst auf der einen Seite eine verdichtende und gleichzeitige, auf der andern eine verdünnende Welle, die also bei gleicher Breite in ihrer Mitte sich schneiden und dadurch die Interferenzlinie erzeugen müssen. Mir scheint jedoch, dafs bei dem Phänomene überhaupt vielleicht ein anderes Verhalten statt finden könne. Wenn man die eine und die andere Fläche der nachtönenden Stimmgabel leise mit der Spitze einer feinen und dünnen Federmesserklinge oder einer feinen Nadel berührt, so gewahrt man an jeder ein Klirren, welches nach der Höhe des dadurch erzeugten schwachen Tones durch gleiche schnelle Pulsus erzeugt wird. Es läfst sich zwar nicht mit Gewifsheit hieraus folgern, dafs der Stab in der Richtung jeder der beiden Flächen schwingt, weil an der einen ein blofses Schaben in Folge einer Reibung statt finden könnte; allein durch genaue Beachtung des Phänomens wird jene erstere Folgerung mindestens wahrscheinlich, und sie erhält noch aufserdem eine Bestätigung durch die Curven, welche die Knöpfe der Stäbchen bei Wheatstone's[1] *Kaleidophone* beschreiben, woraus hervorgeht, dafs Stäbchen, selbst vierkantige, nicht in einer geraden Ebene schwingen. Nehmen wir aber an, dafs solche Stäbe abwechselnd in Ebenen schwingen, die auf ihre Flächen perpendiculär sind, so müssen die Schwingungen nach der einen in der Mitte zwischen die nach der andern fallen, wodurch die Durchschnittspuncte der verdichtenden und der verdünnenden Wellen von selbst gegeben werden, indem die von der angeschlagenen Seite ausgehenden um eine halbe Breite voraus sind. Die Figuren erläutern die auf diese Weise bei Zinken von ungleichen und gleichen Flächen entstehenden Interferenzlinien, da der Querschnitt der Stimmgabelzinken ebenso oft ein Parallelogramm als ein Quadrat zu seyn pflegt[2].

Fig. 160. u. 161.

Man hat dieses hier bezeichnete Verhalten der Schallwellen auch wohl *Polarisation*[3] genannt, auch redet Wheat-

---

1 S. *Kaleidophon*. Bd. V. S. 811.

2 Dafs die Interferenzlinie bei beiden Gestalten der Zinken eine ungleiche Richtung habe, scheint mir für meine Ansicht ihrer Entstehung sehr beweisend zu seyn.

3 Vergl. Schweigg. Journ. XII. 197. XVI. 187.

Digitized by Google

STONE[1] von einer Polarisation des Schalles in der Luft und bei seiner Fortpflanzung durch feste Körper, allein es ist mir nicht recht klar, was hierunter verstanden wird; eine eigentliche Polarisation des Schalles, wie die des Lichts, obgleich beide auf einer Wellenbewegung beruhn, ist bis jetzt noch nicht genügend nachgewiesen. Wenn aber PAROLETTI[2] gefunden haben will, dafs das Licht die Fortpflanzung des Schalles befördere, so verdient dieses wohl keine eigentliche Beachtung.

83) Die Fortpflanzung des Schalles durch die Luft wird ausnehmend befördert, sobald die letztere in feste Grenzen eingeschlossen ist, und der Fortgang desselben durch Röhren bietet allerdings merkwürdige Erscheinungen dar. Dahin gehört unter andern schon der Umstand, dafs die Weite der Röhren dabei kaum oder überall nicht in Betrachtung kommt. Bis zu welcher Grenze der Weite diese Behauptung ausgedehnt werden könne, ist allerdings schwer auszumitteln, da zu Versuchen hierüber geeignete Canäle nicht leicht zu Gebote stehn, inzwischen geht aus minder vollkommenen Erfahrungen wenigstens so viel hervor, dafs eine gröfsere Weite die Wirkung sehr bald zu vermindern beginnt, wie man an langen Gängen in Gebäuden, Stollen und tiefen Schachten wahrnimmt, die den Schall bei weitem nicht so stark fortleiten, als enge Canäle. Schwerlich dürfte sich leicht ein Fall auffinden lassen, wo eine weitere Röhre den Schall fortleitete, als der §. 80. erwähnte Brunnenschacht von 12 engl. Fufs Durchmesser und 120 F. Tiefe, dessen ausnehmend starke Fortleitungsfähigkeit der Beachtung werth gefunden wurde. Ungleich wirksamer dagegen sind Camine und Schornsteine; die noch engeren Schläuche für die Luftheizung oder Dampfheizung aber dienen leicht dazu, den Schall durch die entferntesten Gemächer der ausgedehntesten Gebäude fortzupflanzen, weswegen man die erstern in Gefängnissen, Corrections- und Irrenanstalten vermeiden mufs, weil ihre Mündungen in den einzelnen Zimmern eine Communication mit andern, selbst den entferntesten, gestatten oder der Lärm beim Toben der Wahnsinnigen die mehr beruhigten aufschreckt. Geht die

---

1 Ann. of Philos. New Ser. T. VI. p. 81. Ann. of Philos. XXXII. 80.

2 Journ. de Phys. T. LXVIII. p. 345.

Weite der Röhren bis auf einen Fuſs Durchmesser und noch tiefer bis selbst unter zwei Zoll herab, so ist ihre Wirkung ganz unglaublich, und bis jetzt ist die Grenze der Enge noch nicht aufgefunden, die vermindernd zu wirken beginnt, ebenso wenig als sich angeben läſst, ob Krümmungen und Winkel ein Hinderniſs herbeiführen. Letzteres ist der Analogie nach nicht wahrscheinlich, weil Biegungen der Röhren bei Blasinstrumenten nicht störend wirken, bei den Hörrohren vielmehr eine Verstärkung des Schalles erzeugen [1] und die Bewegung der Luft in Röhren durch Aenderung der Richtung in beliebigen Winkeln nicht wahrnehmbar verzögert wird [2].

Die Sache war im Allgemeinen bereits hinlänglich bekannt, als Biot [3] sie durch höchst interessante genaue Versuche mehr wissenschaftlich begründete. In Verbindung mit Bouvard, Malus und hauptsächlich Martin benutzte er eine in Paris neu angelegte eiserne Wasserleitung, um die Fortpflanzung des Schalles theils durch Gufseisen, theils durch die in den Röhren eingeschlossene Luftsäule zu prüfen, und gelangte dadurch zu dem merkwürdigen Resultate, daſs im letztern Falle der leiseste Schall bis zu unglaublich weiter Entfernung noch hörbar bleibt. Anfangs schien zwar allerdings der Schall in der Röhrenstrecke, deren Länge 951 Meter betrug, so sehr abzunehmen, daſs keine Verständigung durch dieselbe möglich blieb, als aber Biot und Martin die geräuschlosen Stunden der Nacht von 1 bis 4 Uhr wählten, durchlief der Schall die in den Röhren eingeschlossene Luftsäule von 951,25 Meter (2928,66 par. F.) so ungeschwächt, daſs man, wie es wörtlich heiſst, ganz schweigen muſste, wenn man nicht gehört werden wollte, denn Worte, so leise gesprochen, als wenn man sich ins Ohr flüstert, kamen ungeschwächt am andern Ende an. Hierbei bleibt es allezeit merkwürdig, daſs Bouvard und Malus anfangs den durch kürzere Röhrenstrecken fortgeleiteten Schall sehr gut vernahmen, nachher aber bei 395 Meter Länge sich kaum noch verständlich machen konnten,

---

1 S. *Hörrohr*. Bd. V. S. 425.

2 S. *Pneumatik*. Bd. VII. S. 672.

3 Mém. d'Arcueil. T. II. p. 405. Ann. Ch. et Phys. T. VII. p. 98. G. XXXV. 419.

Digitized by Google

und Biot selbst am Tage durch die ganze Strecke zwar ein starkes Schreien, aber nicht die einzelnen Worte wahrnahm. Man sollte denken, dafs die nämliche Schwächung des Schalles, die durch das gleichzeitige anderweitige Geräusch bewirkt wird, die Wahrnehmung des Schalles auch durch kürzere Strecken hindern mufste, wenn der Durchgang der Schallwellen durch Röhren von beliebiger Länge keine Verminderung der Stärke desselben bewirkte, und man müfste daher zur Erklärung des abweichenden Resultates annehmen, dafs das äufsere Geräusch in den Röhren selbst eine mit ihrer Länge zunehmende Schwächung des Schalles bewirkte. Diese Hypothese liefse sich sehr wohl mit Gründen unterstützen, wenn man darauf Gewicht legen wollte, dafs Schallwellen so leicht in allen hohlen Räumen aufgefangen werden[1]. Wird übrigens das Resultat der eben genannten Versuche von Biot als richtig angenommen, so folgt daraus, dafs die zum Versuche dienende Länge noch nicht hinreichend war, um eine Abnahme der Stärke des Schalles wahrnehmbar zu machen, und dafs demnach noch weit gröfsere zur Bestimmung des Gesetzes der Schallabnahme angewandt werden müfsten, wozu jedoch schwerlich Gelegenheit vorhanden seyn dürfte, und es ist daher sehr wichtig, diejenigen, die etwa bei neuen Wasserleitungen dargeboten werden, nicht unbenutzt zu lassen. Wollte man aber die durch Biot gemachte Erfahrung als in ihrer ganzen Strenge gültig betrachten, so würde daraus folgen, dafs man durch Röhren von beliebiger, selbst viele Meilen betragender Länge ohne Schwächung mit einander reden könnte.

Biot hörte bei diesen Versuchen auf gleiche Weise als sein Gehülfe Martin in der Röhre ein sechsfaches *Echo*, ohne dieses Phänomen zu erklären. Gilbert fügt die Bemerkung hinzu, dafs diese Echo's mit der Entstehung der Töne in offenen Pfeifen in Verbindung zu stehn scheinen und auf abwechselnden, schwingungsartigen, sehr kleinen Bewegungen aller Theilchen der sechsten Theile der halben Luftsäule in der Röhre vorwärts und wieder zurück, nach Art der longitudinalen Schwingungen der festen Körper, beruhn müfsten,

---

1 Ueber eine ähnliche räthselhafte Anomalie s. die weiter unten folgende Anmerkung.

da bei einem Echo der Schall vorwärts und rückwärts gehn mufs, mithin die doppelte Zeit gebraucht, als diejenige ist, in welcher er eine gerade Strecke durchläuft. Diese Ansicht ist gewifs nicht ganz verwerflich; zur vollkommenen Begründung einer Erklärung wäre aber erforderlich zu bestimmen, ob diese Echo's gleichmäfsig und in gleichen Intervallen bei allen Tönen von ungleicher Höhe erfolgten. War dieses der Fall, wie aus der Uebergehung einer Bestimmung hierüber mindestens sehr wahrscheinlich wird, so müfste allerdings das Verhältnifs der Röhrenlänge zur Weite der Schallfortpflanzung durch die Luft bei der Erklärung zum Grunde gelegt werden, wie dieses durch Chladni[1] bereits geschehn ist, wobei noch zur Beseitigung der Schwierigkeiten angenommen werden könnte, dafs zur Erhaltung einer normalen Abtheilung die äufsersten Schwingungsknoten vielleicht über die Enden der Röhren hinausreichten, wie etwas ähnliches auch bei Zungenpfeifen vorkommt.

Man macht verschiedene, meistens sehr interessante Anwendungen von der leichten Fortpflanzung des Schalles durch Röhren, insbesondere wenn man beabsichtigt, den Schall von einer bestimmten Stelle aus auf seiner ganzen Bahn unwahrnehmbar nach einem andern gegebenen Orte zu verpflanzen. So wird unter andern der Wächter im Mastkorbe auf Schiffen durch eine Röhre, die aus der Cajüte des Capitains am Mastbaume hinaufgeht, commandirt, und er theilt auf diesem Wege rückwärts Nachrichten mit[2]. Im Industrie-Comptoir zu Weimar erhalten die Arbeiter in den verschiedenen, zum Theil weit entlegenen Zimmern durch blecherne Röhren von etwa eines mäfsigen Fingers Dicke ihre Instructionen aus dem Geschäftszimmer und richten hierhin rückwärts ihre Fragen. In nördlichern Gegenden ist es nöthig, sie an den Enden im Winter mittelst eines Korkes zu verstopfen, damit kalte durchströmende Luft den Hauch in ihnen nicht gefrieren mache, und überhaupt ist dieses zu empfehlen, damit keine Insecten hineinkriechen; zugleich aber mufs jede Röhre mit einem an beiden Enden klingenden Schellenzuge versehn seyn, um voraus ein Zeichen zu geben, dafs man redend commu-

---

1 S. *Echo*. Bd. III. S. 80.
2 Mechan. Magaz. N. 325. p. 176.

Digitized by Google

niciren wolle[1]. Die bekannten redenden Köpfe, gewöhnlich *Türkenköpfe*, wie man sie früher häufig auf Kirchweihen und Messen den Neugierigen zeigte, die auf einem Tische an einer Wand zu stehn pflegten, in deren Ohr man die Frage flüsterte, um aus dem Munde die Antwort zu erhalten, gehören gleichfalls zu dieser Classe von Vorrichtungen, die gegenwärtig durch allgemeiner verbreitete Kenntnifs der Sache ihr Interesse meistens verloren haben und daher aufser Mode gekommen sind. Sie bestehn aus blofsen hohlen Köpfen, aus denen an der hintern Seite eine Röhre durch die Wand ins Nebenzimmer geht, wo die statt des Kopfes vermittelst der Röhre hörende und antwortende Person ihren Platz hat und durch die Verbindung dessen, was sie hört, mit dem, was sie, selbst im dunkeln Raume nicht sichtbar, durch eine feine

---

1 Nach diesen mir seit längerer Zeit wohl bekannten Erfahrungen ist oben den engern Röhren ein entschiedener Vorzug beigelegt worden. Neuerdings sind mir jedoch anderweitige Erscheinungen bekannt geworden, welche einander zu widersprechen scheinen und ebenso wenig bis jetzt aufgeklärt worden sind, als die oben bereits erwähnten Widersprüche zwischen den durch die französischen Gelehrten über die Fortleitungsfähigkeit des Schalles durch Röhren erhaltenen Resultaten. Fabbroni versichert nämlich, dafs die Fortpflanzung des Schalles durch die genannten, kaum einen Zoll weiten Röhren auf eine Entfernung von etwa 250 F. ohne Schwäche erfolge. Scheibler aber wandte auf eine noch gröfsere Strecke Röhren von ungefähr gleicher Weite an und erhielt gar keinen Erfolg. Dabei ist jedoch wohl zu berücksichtigen, dafs die letztern Röhren über einen Hof unter der Erde hin liefen, statt dafs die erstern horizontal durch eine Reihe von Zimmern fortgeführt sind. Als aber später 32 Linien weite Röhren von Weifsblech angewandt wurden, war die Fortleitung so vollständig, dafs sogar die Schläge eines Secundenpendels aus einem Zimmer durch die ganze Länge im andern gehört wurden. Aber auch ein in einer Mauer befindlicher, 5¼ Zoll weiter, vierkantiger Canal von nur 35 Fufs Höhe, dessen vier Seitenwände aus rauhem Mauerwerke bestehn, läfst selbst den stärksten Schall nach Scheibler's Versuchen weder aufwärts noch herabwärts hindurchströmen. Da solche Communicationen vermittelst des Schalles bei vielen Anlagen von grofser Wichtigkeit sind, so verdienen diese Erfahrungen sehr berücksichtigt zu werden. Scheibler leitet das Ausbleiben der Fortpflanzung des Schalles durch die engen Röhren von dem Einflusse der umgebenden Erde ab, wie denn auch eine in einen Bleiblock eingegossene Trompete nicht tönen würde. Das Ergebnifs bei dem gemauerten Canale ist schwieriger zu erklären; Scheibler glaubt, der Schall werde von den rückwärts gekehrten Biegungen des Mauerwerks zurückgeworfen.

Oeffnung wahrnimmt, leicht die räthselhaften Fragen löst, die meistens von den Ungebildeten aufgegeben und zu ihrer grofsen Verwunderung richtig beantwortet werden. Eine wegen des sinnreichen Mittels der Täuschung sehr interessante Abänderung dieser Vorrichtung zeigte des bekannten v. Kempelen's Schwiegersohn nach einer von Vieth[1] darüber mitgetheilten Nachricht. Die *redende Figur* hatte übrigens nichts auszeichnendes, sie safs auf einem Stuhle an einer bestimmten Stelle des Zimmers, hörte und ertheilte die Antworten wie gewöhnlich, und man mufste danach also eine aus ihr durch den Fufsboden ins Nebenzimmer fortgeführte, den Schall leitende Röhre als vorhanden voraussetzen. Dann aber war es um so viel überraschender, dafs sie zusammt dem Stuhle von ihrer Stelle gerückt und mitten ins Zimmer gestellt wurde, um leise geheimere Antworten zu geben, ohne dafs irgend eine Verbindung mit dem Nebenzimmer oder eine sonstige zum Vorschein kam, und selbst Vieth, übrigens mit diesen Einrichtungen hinlänglich vertraut, konnte keine solche entdecken, bis sie ihm gezeigt wurde. Es gingen nämlich von beiden Stellen aus, wo der Stuhl stehn mufste, Röhren, von jeder eine, unter dem Fufsboden hin ins Nebenzimmer, und waren so gekrümmt, dafs ihr eines Ende gegen den einen Fufs des Stuhls gerichtet war, in welchem eine Röhre bis in den Kopf der Figur hinaufging; das unter dem Fufsboden aufwärts gerichtete Ende der Röhre wurde dann dem unten im Stuhlfufse sich öffnenden Röhrenende dadurch möglichst nahe gebracht, dafs das Fufsbodenbord an der gehörigen Stelle unten bis auf eine sehr dünne Stelle weggenommen war, die man zur Herstellung der Verbindung mit einer Nadel unmerklich fein durchstochen und, um sie nicht zu verfehlen, mit einem blofsen Nagel bezeichnet hatte.

Die interessanteste Vorrichtung dieser Art wurde im Anfange dieses Jahrhunderts eine geraume Zeit fast gleichzeitig oder bald nach einander in England, in Paris, an den Küstenländern Deutschlands und allmälig an den meisten bedeutendern Orten des europäischen Continentes unter dem Namen der *Invisible girl*, der *Femme invisible* und der *unsichtbaren Frau* von herumziehenden Künstlern mit grofsem Ge-

1 G. XXI. 801.

Digitized by Google

winne gezeigt. Das Geheimnifs, worein die Sache gehüllt war, wurde von Kennern der akustischen Gesetze bald errathen und dann ohne Widerstreben bekannt gemacht, denn die eigene Betrachtung der Maschine bleibt auch dann noch interessant und selbst wichtig, wenn man mit ihrem Mechanismus vertraut ist, und das besser belehrte Publicum läfst sich jetzt durch scheinbare Wunder nicht mehr täuschen, strebt vielmehr nach eigentlicher deutlicher Kenntnifs der Sachen. Daher wurde der Mechanismus der Vorrichtung nicht lange nach dem ersten Erscheinen in England durch einen Ungenannten, in Deutschland durch C. H. Pfaff beschrieben[1], und andere Beobachter fanden die Sache bestätigt.

Aus dem blofsen Anblicke der Zeichnung wird die Sache klar. Die Ueberraschung entsteht hauptsächlich dadurch, dafs der Haupttheil der Maschine, die hohle Kugel mit ihren vier trompetenartigen Mündungen, die vom englischen Beobachter als gerade, von Pfaff als herabwärts gekrümmt angegeben sind (wie auch ich sie an einem schönen Exemplare beobachtet habe), ganz frei an vier mäfsig breiten seidenen Bändern entweder von den gebogenen Drähten der Maschine, wie die Figur sie zeigt, oder von der Decke des Zimmers herabhängt, so dafs man dieselbe in die Höhe heben und dadurch Fig. 162.

den Mangel eines Zusammenhanges dieses eigentlich (scheinbar) redenden Maschinentheiles mit der übrigen Vorrichtung oder einem sonstigen Gegenstande darthun kann. Hierdurch wird sofort die Täuschung erzeugt, als diene das aus leichten Stäben gemachte Gitter blofs zum Schutze dieses wichtigsten Theils, und der Gedanke, dafs durch einen der vier Träger desselben und eine der diese verbindenden Querleisten eine den Schall leitende Röhre gelegt sey, wird gleichsam zurückgedrückt. Die vier Pfeiler des Gegatters sind entweder so, wie die Figur zeigt, durch die beiden untern und die eine obere Querleiste verbunden, oder zwischen beiden befinden sich noch etwa einen Zoll breite, nur wenige Linien dicke, einander schräg kreuzende Leisten. Wie die Verbindung der sprechenden Kugel mit der den Betrug spielenden Dame durch eine in der Mitte der obern Querleiste mündende, in einem der Pfosten herabgehende, unter dem Fufsboden hingeführte

1 G. XXVIII. 244.

und im Nebenzimmer aufwärts gebogen endende Röhre hergestellt sey, ist aus der Zeichnung ersichtlich; auch ist wohl zu vermuthen, dafs die unsichtbare Frau, selbst im dunkeln Zimmer befindlich, durch eine feine Spalte Kenntnifs von dem erhalte, was im Zimmer vorgeht, um ihre Antworten danach einzurichten, denn auch bei dieser Maschine findet die von Ungebildeten vielbewunderte Beantwortung räthselhafter Fragen statt, wozu die Zeichen, die auf sonstige Weise von vertrauten Personen im Zimmer selbst gegeben werden könnten, nicht hinreichen würden. Bei einigen Maschinen hörte man auf Verlangen auch eine schwachtönende Musik, wie von einem Forte-Piano in der Kugel, und obgleich die eigentliche Vorrichtung hierzu nicht speciell angegeben ist, so läfst sich doch leicht vorstellen, auf welche Weise der Schall des gespielten Instruments aufgefangen und der fortleitenden Röhre zugeführt werden mufs, um blofs durch die Kugel und nicht zugleich durch die benachbarte Wand gehört zu werden, indem dadurch sonst das Geheimnifs verrathen würde. Es ist bei den Maschinen dieser Art zur Erlangung der beabsichtigten Täuschung von Wichtigkeit, dafs die Mündung der Röhre, da wo sie der einen Trompete gegenüber endet, sehr fein und selbst dem schärfsten Auge nicht wahrnehmbar sey. Dieses wird dadurch erreicht, dafs der Stab, welcher an die Kanten der Querleisten angestofsen ist, eine schwarze Farbe erhält, während die Flächen der Leisten grün, blau oder sonst gefärbt sind. In der Vertiefung des obern Stabes an der inwendigen Kante der Leiste wird dann eine feine Ritze, etwa einen Zoll lang und kaum eine halbe oder nur eine Viertellinie weit, angebracht, die in die Leitungsröhre führt. Bei einem von mir gesehenen Exemplare war es mir nicht möglich, diese Oeffnung weder durch das Gesicht noch durch das Gefühl aufzufinden, obgleich ich die Stelle recht gut kannte, wo sie sich befinden mufste und auch wirklich vorhanden war, bis der Besitzer des Apparates, der mein Bemühen bemerkte, mich bat, vom Suchen zu abstrahiren, und dann nach Entfernung der übrigen Zuschauer durch einen hineingeschobenen Papierstreifen nicht blofs die Anwesenheit dieser Oeffnung, sondern auch die Unmöglichkeit zeigte, sie auf sonstige Weise aufzufinden. Dieser Umstand hat Dr. Schmidt[1] be-

1 G. XIX. 470.

Digitized by Google

wogen, die gangbare Erklärung des Phänomens zu verwerfen und eine andere aufzustellen, die jedoch akustischen Gesetzen widerstreitet; wenn er aber behauptet, unter alle vier Pfeiler des Gitters Kartenblätter geschoben zu haben, so ist allerdings zu verwundern, dafs hierdurch die Fortpflanzung des Schalles nicht aufgehoben wurde, indefs bleibt immer möglich, dafs der schlaue Besitzer der Maschine gerade das hemmende Kartenblatt unvermerkt zur Seite geschoben habe, auf jeden Fall müfste ein Versuch dieser Art unter gehöriger Controle angestellt werden. Dafs übrigens die feinsten Oeffnungen zur Fortpflanzung der Schallwellen genügen, beweiset die eben beschriebene, durch Vieth beobachtete Vorrichtung.

Der auffallendste Umstand bei dieser Maschine ist die Eigenthümlichkeit, dafs man in jede der vier Trompeten sprechen kann und willkürlich aus jeder die Antwort vernimmt, ohne dafs nach meinen Beobachtungen ein Unterschied der Stärke oder eine Verschiedenheit der Richtung wahrgenommen wird. Ob auch andern dieses aufgefallen sey, wage ich nicht zu bestimmen, es wird jedoch nichts hierüber angegeben. Die Ursache scheint mir darin zu liegen, dafs die in die Kugel gestofsenen Schallwellen sich nach allen Seiten hin ausbreiten und daher sowohl in die Mündung der Leitungsröhre, als auch, wenn sie aus dieser kommen, in alle vier Trompeten gelangen und daher vor der Oeffnung einer jeden wahrnehmbar sind. Wie sehr aber hohle Räume den Schall verstärken, ist bereits aus andern Erfahrungen bei Bauchreden, dem Hörrohre u. s. w. nachgewiesen, und manche dieser Erscheinungen werden durch diejenigen Erfahrungen aufgeklärt, welche man vermittelst der eben beschriebenen Maschine erhalten kann.

84) An diese Betrachtungen schliefst sich unmittelbar die Untersuchung des *Sprachrohrs* (*Tuba stentorea*, *stentorophonica;* Porte-voix; *Speaking trumpet*), indem durch dasselbe gleichfalls die Schallwellen zwischen Wänden fortgepflanzt werden, die jedoch nicht parallel, sondern unter einem Winkel gegen einander geneigt sind; auch sollen sie nicht blofs bis ans Ende der Röhre, sondern in beträchtliche Weite über diese hinaus und weiter gefördert werden, als ohne das Sprachrohr geschehn würde. Das jetzt gebräuchliche Sprachrohr ist vom Ritter Samuel Morland 1670 erfunden worden, welcher solche

Digitized by Google

Instrumente zuerst kleiner aus Glas, dann gröfser aus Kupfer in der Gestalt eines abgekürzten Kegels verfertigen liefs und viele Versuche, namentlich auch in Gegenwart des Königs Carl's II. und des Prinzen Robert, anstellte. Mit einem derselben, welches am einen Ende 2 Zoll, am andern 21 Z. Durchmesser und 5,5 Fufs Länge (sämmtlich englisches Mafs) hatte, machte er Versuche zu Deal und es zeigte sich, dafs die menschliche Stimme hierdurch auf 3 engl. Meilen weit fortgepflanzt wurde[1]. Als diese Erfindung bekannt wurde, mafste sich Athanas. Kircher[2] dieselbe an, und berief sich dabei auf das, was hierüber von ihm schon 20 Jahre früher bekannt gemacht worden sey, allein in der Schrift, worauf er sich bezieht[3], ist blofs von Röhren die Rede, durch die der Schall vom Munde des Redenden zum Ohre des Hörenden fortgepflanzt wird, und erst später gab er an, dafs sein Hörrohr auch als Sprachrohr gebraucht werden könne, wenn man es umkehre. Wenn er sich auf Schott und Harsdörfer beruft, so reden diese blofs von seinem Hörrohre, er selbst aber giebt den Albanus Ghibbisius, den Fr. Eschinardus und Caspar Schott als Zeugen an, dafs er vermittelst eines Rohrs aus seinem Zimmer im Collegium zu Rom den Thürwärter gerufen habe; allein auch dieses geschah der Beschreibung nach vermittelst einer blofsen Röhre. Mehr Aehnlichkeit mit einem wirklichen Sprachrohre scheint dasjenige Instrument gehabt zu haben, womit der Augustinermönch Salar[4] etwa 7 bis 8 Jahre früher die schwache Stimme eines Bassisten zu verstärken vorschlug. Einige wollten die Erfindung des Sprachrohrs in die Zeiten Alexander's d. Gr. versetzen, von welchem Kircher[5] aus einer alten Handschrift des Aristoteles (*de*

---

1 An Account of a speaking trumpet, as it has been contrived by Sam. Morland. Lond. 1761. Vergl. Phil. Trans. T. VI. N. 79. p. 3056.

2 Phonurgia nova. Romae 1673.

3 Musurgia universalis seu ars magna consoni et dissoni. Romae 1650. fol. Vergl. Derham Physico-theologia. Lond. 1754. 8. L. IV. cap. 3.

4 Journ. des Savants edit. de Hollande. T. III. p. 126.

5 Ars magna lucis et umbrae. Amst. 1671. fol. p. 102. Nach Kircher's Beschreibung liefs Salar 1654 in Paris ein solches Horn nachmachen. S. Hassenfratz in Ann. de Chim. T. L. p. 297.

d by Google

Secretis ad Alexandrum magnum) anführt, er habe ein Horn gehabt, womit er sein Kriegsheer auf 100 Stadien weit zusammenrufen konnte. Auch Morhof[1] redet von diesem Instrumente, welches man *Tuba stentorophonica* (vom Stentor, dem starken Schreier im Homer) nennt, und führt die Stelle aus jenem untergeschobenen Buche des Aristoteles an, welches aus dem Arabischen übersetzt 1516 zu Rom gedruckt wurde, wonach also mindestens die Araber schon das Sprachrohr gekannt hätten; allein es ergiebt sich bald, dafs jenes nur ein Kriegshorn war, wie man solche allerdings im höchsten Alterthume kannte[2]. Was man bei Porta findet, bezieht sich gleichfalls blofs auf das Hörrohr[3].

Dafs das Sprachrohr zunächst oder überhaupt blofs durch das Zusammenhalten der Schallstrahlen, ohne theilnehmenden Einfluss der Wandungen, wirke, wurde stets fast ganz allgemein angenommen, und die entgegengesetzte Ansicht von Musschenbroek[4], wonach die Masse des Instruments in Schwingungen versetzt werden soll, fand wenige Anhänger. In Uebereinstimmung mit der richtigern Theorie ergiebt auch die Erfahrung, dafs das Material, woraus dasselbe besteht, auf die Wirkungen keinen Einfluss hat, und man verfertigt daher die Sprachrohre zwar meistens aus Weifsblech, die kostbarern nur selten aus Kupferblech, jedoch ist Pappe gleichfalls dazu tauglich. Weit verschiedener sind die Meinungen über die geeignetste Form. Die ursprünglichen von Morland bestanden aus einem abgekürzten Kegel, und diese Gestalt haben auch im Allgemeinen diejenigen, deren man sich noch jetzt bedient, einige selbst ohne das sonst gewöhnliche Mundstück am engern und den trompetenförmigen Fortsatz am weitern Ende, indem die anderweitigen Vorschläge einer verbesserten Construction mindestens nicht zu allgemeinerer Anwendung gekommen sind. Cassegrain[6] schlug schon 1672 vor, ihm

---

1 Dissert. de vitro per vocis sonum rupto. In Diss. acad. Hamb. 1699. 4.

2 Goguet Ursprung der Gesetze, Künste und Wissenschaften. Th. I. S. 326.

3 Magia naturalis. L. XX. c. 5. Vergl. Stuhn's Collegium curiosum. P. II. tent. 8.

4 Introduct. ad Phil. Nat. T. II. §. 2256.

5 Journal des Savants. T. III. p. 131.

eine hyperbolische Form zu geben, so dafs die Axe des Rohrs die Asymptote der Hyperbel bilde. Conyers[1] hat mehrere Formen angegeben, zieht aber die Gestalt einer Glocke vor, deren oberer Theil parabolisch gekrümmt seyn soll, damit der Schall durch ein seitwärts angebrachtes Rohr in den Brennpunct der Parabel gelangt. Der Theorie nach müfste diese Gestalt die stärkste Wirkung leisten, indem die sämmtlichen reflectirten Schallstrahlen der Axe parallel fortgestofsen zu einem Cylinder vereinigt würden; allein die Erfahrung stimmt hiermit nicht überein. Joh. Matthias Hase[2] setzte das Sprachrohr aus einem elliptischen und einem parabolischen Stücke zusammen, so dafs der Mund sich in dem einen Brennpuncte der Ellipse befinden soll, während der andere zugleich der Brennpunct der Parabel ist. Auch dieses müfste der Theorie nach viel leisten, was jedoch die Erfahrung nicht bestätigt. Man sucht die Ursache hiervon in dem Umstande, dafs der Schall nicht wohl genau in dem einen Brennpuncte seyn kann, mir scheint jedoch die ganze bisher angenommene Theorie auf unrichtigen Principien zu beruhen. Martin[3] bemerkt mit Recht, dafs die parallele Zurückwerfung der Schallstrahlen zur Vermehrung ihrer Stärke gar nicht wesentlich ist, vielmehr die zahllosen Reflexionen und Reciprocationen hindert, wodurch nach Newton die Verstärkung hauptsächlich bewirkt werde. Die Verstärkung des Fortgestofsenwerdens des Schalles beruhe nämlich auf der Zahl der Zurückstofsungen der Schallwellen von den Seitenwandungen des Rohrs und hänge daher ab von der Länge desselben und von einer solchen Gestalt dieser Wandungen, wodurch jene Zurückstofsungen am meisten befördert würden, wonach die parabolische gerade am wenigsten geeignet sey, statt dafs die logarithmische oder logistische Curve die gröfsten Vorzüge darbiete.

Die gangbare Theorie des Sprachrohrs ist diejenige, welche Lambert[4] gegeben hat, wovon ich jedoch nur die Ele-

---

1 Phil. Trans. for 1678. N. 141. p. 1027.

2 Dissert. de Tubis stentoreis. Lips. 1719. 4.

3 Martin's Philosophia Britannica, or System of the Newtonian Philosophy. III. T. 8. Lond. 1771. T. II. p. 248.

4 Mém. de l'Acad. de Berlin. 1768. Uebers. von Huth Berl. 1796. Man findet sie ausführlich in G. U. A. Vieth Anfangsgründe

mente mittheile, weil sich die Unrichtigkeit derselben leicht nachweisen läfst. Nach ihm gehn Schallstrahlen von einem Puncte des redenden Mundes aus, werden wiederholt von den glatten Wänden des Sprachrohrs so oft reflectirt, bis sie sich zu einem Cylinder gestalten, und hierin liegt die Bedingung ihrer weiten Fortpflanzung. Heifst dann der Winkel an der Spitze des Sprachrohrs $= \varphi$, so wird der Schall im Verhältnifs von $2 (\sin.^2 \frac{1}{2} \varphi) : 1$ verstärkt. Hieraus ergeben sich die vortheilhaftesten Dimensionen des Sprachrohrs. Zur untern Oeffnung desselben nimmt man den doppelten Abstand der Spitze des Kegels vom Mundloche und diese Gröfse, dividirt durch $4 (\sin.^2 \frac{1}{2} \varphi)$ von der Spitze an gerechnet zur Länge, wonach also bei einem 6 Fufs langen Sprachrohre der Winkel an der Spitze 16° 17′ betragen und der Schall um das 96fache verstärkt werden würde. Die gründlichsten Untersuchungen dieses Problems sind durch Hassenfratz[1] angestellt. Zuerst fand er, das eine cylindrische Röhre von 0,6 Met. Länge und 0,038 Meter Weite das Picken einer Taschenuhr auf 2,25 Meter Entfernung hörbar machte, da es ohne diese schon in 1,1 Meter Entfernung nicht mehr wahrnehmbar war, woraus also hervorgeht, dafs eine cylindrische Röhre auch ohne die vermeintliche Reflexion den Schallstrahlen diese weiter fortpflanzt. Nach Lambert's Theorie mufste ferner das trompetenförmige Stück an der weiten Mündung der Sprachrohre, das sogenannte *Schallstück*, ohne Wirkung seyn, auch räth er, dieses wegzulassen; Versuche ergaben jedoch, dafs die Schallfortpflanzung bedeutend dadurch vermehrt wird, weswegen man dasselbe auch allezeit angebracht findet, ja selbst durch ein cylindrisches Rohr wird der Schall weiter fortgepflanzt, wenn sich ein solches Schallstück an seinem entfernten Ende befindet. Zur weitern Prüfung der Theorie einer Zurückwerfung der Schallstrahlen schob Hassenfratz in ein blechernes Sprachrohr eine Ueberkleidung von Wollenzeug und schreibt die dadurch bewirkte unbedeutende Schwächung blofs der Verengerung desselben zu; es hätte aber die Fortpflanzung gänzlich aufhören müssen, da eine Reflexion von Fig. 163.

---

d. Math. Th. II. Abth. 1. Leipz. 1824. S. 382. Vergl. Lambert über einige akustische Instrumente. Berl. 1799.

1 Ann. de Chim. T. L. p. 297.

Digitized by Google

dem weichen wollenen Zeuge unmöglich war. Hassenfratz[1] hat selbst später noch andere Constructionen des Sprachrohrs angegeben, wodurch ihre Wirkung verstärkt werden sollte, es scheint aber nicht, dafs der Erfolg diese Vermuthung bestätigt habe; wenn aber Gough[2] die ganze Wirkung dieses Instruments auf die Zurückwerfung der Schallstrahlen von tönenden Flächen zurückführen will, so zeigt sich dieses bald als so wenig begründet, dafs es keiner ausführlichen Widerlegung bedarf. Endlich hat auch Prechtl[3] eine Erklärung der Wirkungen des Sprachrohrs auf das durch v. Busse in Anregung gebrachte pneumatische Paradoxon gegründet, allein bekanntlich findet letzteres überall nicht statt[4] und es scheint mir daher überflüssig, auf diese Untersuchung weiter einzugehn.

Wenn wir die eigentliche Beschaffenheit der Schallwellen genau auffassen, so ist es mit der Vorstellung von dieser ganz unverträglich, sich dieselben als fortgehende, an die Wandungen der Röhren stofsende und in einem dem Einfallswinkel gleichen Ausfallswinkel reflectirte Strahlen zu denken[5], wenn auch der einmal eingeführte Ausdruck von Schallstrahlen beibehalten werden kann. Ein schallender Körper erzeugt vielmehr, der bisher consequent durchgeführten richtigen Ansicht gemäfs, rund um ihn sich verbreitende Schallwellen, die in stets gröfserm Kreise auslaufend soweit fortgehn, bis sie eben durch diese Ausbreitung und den Widerstand geschwächt, welcher jede Bewegung hindert, zu schwach werden, um die Gehörnerven noch weiter zu afficiren. Wird der Schall im einen Ende einer cylindrischen Röhre erzeugt, oder dringt er sogleich beim Entstehn in dasselbe ein, so bilden sich cylinderförmige Wellen, die sich nicht nach aufsen ausbreiten können und daher mit ganzer Stärke auf die Bildung einer Welle in der zu-

---

1 Journ. de Phys. T. LVI. p. 18. T. LX. p. 20. G. XIX. 145.

2 Nicholson's Journ. of Nat. Phil. 1805. Mar.

3 G. XXIII. 261.

4 Vergl. *Pneumatik.* Bd. VII. S. 639.

5 Die Unzulässigkeit der Vorstellungen, wonach man sich die fortgehenden Schallwellen als die Strahlen denkt und nach Art der Katoptrik eine *Katakustik* und *Kataphonik* bildet, hat schon La Grange in Miscell. Taur. T. I. 1759. und später Poisson in Journ. de l'École polyt. T. VII. p. 350. gezeigt.

Digitized by Google

nächst sie berührenden Luftschicht wirken, sie würden also bis zu jeder gegebenen Entfernung fortschreiten, wenn jede folgende Welle auf gleiche Weise und mit gleicher Stärke, als die erste oder die ersten, gebildet würde; da aber jede Zusammendrückung oder Ausdehnung irgend einer Körpermasse mit einiger Reibung der elementaren Theilchen verbunden ist, so liegt in der Summe dieser stets wiederkehrenden Hindernisse ein Grund des endlichen Aufhörens der einmal mitgetheilten Bewegung. Aus dieser Ansicht folgt mit der Erfahrung übereinstimmend, dafs der Schall durch die Luft in cylindrischen Röhren weiter als durch feste Körper fortgepflanzt werde, und das Wasser müfste zwischen beiden in der Mitte liegen. Wo die cylindrischen Röhren enden, fangen die Wellen an, ihre Form zu verlieren, sich auszubreiten, und der Schall wird zu keiner weitern Ferne gelangen, als die er auch ohne die Röhre erreicht hätte, weniger derjenigen Entfernung, die der in der Röhrenstrecke bereits angenommenen Schwächung der Schallwellen proportional ist. Die Entfernung, bis zu welcher die anfangs in cylindrischen Röhren fortgehenden Schallwellen gelangen, mufs jedoch der Theorie nach wachsen, je länger die leitende Röhre ist, weil der aus den einzelnen Wellen bestehende Schallcylinder durch die öfter wiederkehrenden Oscillationen eine mehr bleibende Gestalt angenommen hat. Hiermit stimmen die Erfahrungen von Hassenfratz überein, ohne dafs sie jedoch ein bestimmtes Verhältnifs dieser beiden Gröfsen angeben. Aehnliche Wirkungen erzeugt auch das Sprachrohr. In diesem breiten sich zwar die fortgehenden Schallwellen aus, aber bei weitem nicht so unbegrenzt, als im freien Raume, und aufserdem nach einem bestimmten Gesetze, welches durch die Form des Instruments gegeben wird, wobei eine gleichmäfsige Succession, die der kegelförmigen Gestalt zugehört, am vortheilhaftesten zu seyn scheint. Auch hierbei folgt die gröfsere Wirkung der längern Sprachröhre aus dem bisher Gesagten von selbst, welcher Winkel der Seitenwandungen aber für die weitere Fortpflanzung am geeignetsten sey, scheint mir so lange unbestimmbar zu seyn, als wir die Breite der einzelnen wellenartig verdichteten und verdünnten Massen und die eigentliche Beschaffenheit derselben rücksichtlich dieser Modificationen nicht kennen. Indem nämlich die vor- und rück-

wärtsschreitenden Wellen in dem konischen Rohre oscilliren, erhalten sie durch die im Fortschreiten ihnen gestattete Ausbreitung und die beim Rückgange statt findende Zusammendrückung jederzeit einen erneuerten Impuls zum Fortgehn; sie stemmen sich zuletzt gegen das Schallstück, und müssen daher in ungleich gröfsere Fernen gelangen, als wenn sie im freien Raume oder auch anfangs in einer cylindrischen Röhre sich bewegen. Uebereinstimmend mit dieser Erklärung ist die §. 44. bereits erwähnte Verstärkung des Schalles durch Resonanz.

Hieraus ergiebt sich, dafs die Sprachröhre nicht füglich zu lang seyn können, bis sie sich wegen zu grofser Länge nicht wohl mehr handhaben lassen. Man hat sie in England bis zu 24 engl. Fufs lang dargestellt, und dieses dürfte wohl als das Maximum gelten, was sonst nicht überschritten seyn wird. Auf den Schiffen hat man meistens kleinere zum Anrufen anderer Schiffe, deren Gröfse selten etwa 4 bis höchstens 6 Fufs bei ungefähr 2 Zoll und 6 bis 10 Zoll Durchmesser der beiden Oeffnungen übersteigt. Ueber die absolute Entfernung, bis wohin sie den Schall zu tragen vermögen, hat man nur wenig zahlreiche und keine absichtlich wissenschaftlich angestellten Beobachtungen, weil diese eine freie, wenig bewohnte und stille Gegend erfordern. Nach Vieth's[1] Versuchen erstreckte sich an stillen Winterabenden die *bequeme* Rufweite mit einem 4,5 fufsigen Sprachrohre nicht über 5000 Fufs, Morland aber machte bei seinen bereits erwähnten ersten Versuchen zu Deal die Stimme eines Mannes mit einem 5,5 fufsigen Rohre schon bis 15000 engl. Fufs hörbar. Hutton[2] erwähnt Versuche, wobei die Worte vermittelst eines 16,6 fufsigen Rohres auf 1800 und vermittelst eines 24 engl. Fufs langen auf 2500 geometrische Schritte verstanden wurden. Hieraus geht schon hervor, dafs ein grofser Unterschied statt findet, ob man articulirte Worte versteht oder blofs einen nicht ganz verschwundenen Schall noch wahrnimmt. Sehr gute Sprachröhre zwischen 6 und 8 Fufs lang habe ich einst auf dem Wilhelmsstein (einer kleinen von Wasser umgebenen Festung) unweit Bückeburg gesehn, und

1 A. a. O. S. 348.
2 Dictionary of nat. Phil. T. II. p. 542.

Digitized by Google

man versicherte mich, dafs man vermittelst derselben mit dem fürstlichen Schlosse communicire, dessen Entfernung auf fast ½ Stunde oder ungefähr 9000 Fufs geschätzt wurde. Aufserdem fand ich einmal Gelegenheit, auf einem einsamen Gute unweit Oppeln in Schlesien Sprachröhre zu probiren, mit denen die Arbeiter im Felde benachrichtigt wurden. Mit den besten, die gegen 10 Fufs Länge haben mochten, konnte der Schall einer starken Mannsstimme unter günstigen Umständen nicht weiter als bis auf eine Entfernung vernehmlich gemacht werden, die nach Schätzung 1,25 Stunden betrug. Hiernach und nach den Versuchen von Morland schätze ich die gröfste Entfernung, bis zu welcher eine starke Mannsstimme durch das längste Sprachrohr von 18 bis 24 Fufs Länge noch überhaupt hörbar bleibt, auf 18000 Fufs.

85) Eigenthümlich modificirt wird der in der Luft fortgepflanzte Schall durch die sogenannten *Sprachgewölbe*, (*Flüstergallerieen, Sprachsäle; fornix acusticus;* voûte acoustique, cabinet secret; *whispering-place*), Räume, in denen die Schallwellen von einem oder von mehreren Puncten aus durch Reflexion in einen Punct vereint bedeutend verstärkt werden, während man sie in den übrigen Theilen dieser Räume wenig oder gar nicht hört. Diese Wirkung erfolgt leicht, wenn Gemächer eine parabolische oder elliptische Wölbung haben, und überhaupt mufs man bei Rede- und Musiksälen mit allen Arten von Wölbungen vorsichtig seyn, weil sonst leicht eine solche Concentrirung der Schallwellen entsteht, die für die Zuhörer im hohen Grade unangenehm wird, weil die Vereinigung der verschiednen reflectirten Schallwellen nicht gleichzeitig erfolgt und daher ein unverständliches, brausendes Getöse erzeugt. Wie leicht die Schallwellen in gewölbten Räumen, nach Art der Lichtstrahlen in einem Hohlspiegel, vereinigt und verstärkt werden, zeigte sich unter andern zufällig auf einem Schiffe, welches unfern der Küste von Brasilien hinfuhr, in dessen aufgespanntem Segel der Schall so sehr condensirt wurde, dafs man an einer bestimmten Stelle vor demselben das Geläute der Glocken zu St. Salvador auf 100 engl. Meilen weit hörte[1]. Man versteht indefs unter Flüstergallerieen oder Sprachgewölben solche Zimmer, in de-

1 Arnott in Silliman Amer. Journ. N. XIX. p. 190.

nen man an einer bestimmten Stelle dasjenige deutlich hört, was an einer andern leise geredet wird.

Man findet Flüstergallerieen oder solche Sprachgewölbe häufig, wo sie absichtlos entstanden sind; ja es ist bei Räumen, die von gekrümmten Flächen eingeschlossen sind, oft schwierig, die nachtheilige Verstärkung des Schalles zu vermeiden, und mufste deswegen das chemische Auditorium zu München inwendig mit wollenem Zeuge ausgekleidet werden, um diesem Fehler zu begegnen. Interessant sind in dieser Hinsicht die Wölbungen im Thurme der Marienkirche zu Dresden, wo man an keiner Stelle einen Wiederhall wahrnimmt. Zu den mehrerwähnten Sprachgewölben gehört hauptsächlich das sogenannte Ohr des Dionysius (orecchio di Dionisio, grotta della favella) zu Syracus[1], welches seinen Namen von der Sage erhalten hat, dafs der Tyrann Dionysius die Gefangenen in diese Räume eingesperrt und dann ihre Reden belauscht habe. Es sind jedoch Steinbrüche und die akustische Eigenschaft der Höhlungen ist zufällig entstanden, auch waren die Wirkungen früher stärker als jetzt, da die spiralförmige Gestalt von mehrern sich verändert hat, doch hört man noch jetzt das Zerreifsen eines Stückchens Papiers von einem Ende des Gewölbes bis zum andern auf eine Entfernung von 47,5 Fufs. In der Kathedralkirche zu Girgenti in Sicilien hört man das, was am einen Ende bei der verschlossenen Thüre geredet wird, sehr deutlich am andern, dazwischen aber verschwindet der Schall[2]. In der Sternwarte zu Paris befindet sich ein absichtlich elliptisch gewölbtes Zimmer, welches die erwartete akustische Eigenschaft hat; sehr berühmt ist die Kuppel der Paulskirche zu London, wo man das Ticken einer Taschenuhr oder ein leises Flüstern von einer Seite der Gallerie bis zur andern hört, und in der Kirche zu Glocester verstärkt das Gewölbe an der Ostseite des Chors den Schall so sehr, dafs zwei leise redende Personen sich auf der Gallerie auf einen Abstand von 25 Toisen leicht verstehn können[3]. Am Rathskeller zu Bremen findet sich gleichfalls eine Flüstergallerie und an mehrern andern Orten,

1 Kircheri Phonurgia. Vergl. Beckmann Beiträge zur Gesch. d. Erfind. Th. I. S. 467.

2 Brydone in Mém. de l'Acad. de Turin. 1788 u. 1789.

3 Birch History of the Roy. Soc. T. I. p. 120.

Digitized by Google

jedoch hat man die meisten einer Beschreibung nicht werth geachtet. Ueberhaupt erzeugen kreisförmig zusammenstofsende Gebäude, oder wenn sie in ihrer Anordnung irgend eine andere Curve bilden, leicht ein Echo oder eine Verstärkung des Schalles[1], wie der Königsplatz in Cassel, ein schöner, mit Pallästen bebaueter Platz zu Bath (*the Crescent*) und mehrere andere, gröfstentheils gar nicht beachtete Orte.

B. Fortpflanzung des Schalles durch verschiedene Gasarten.

86) Die sämmtlichen Gasarten kommen rücksichtlich ihrer wesentlichsten Eigenschaften mit der Luft überein und auch selbst bei den nicht permanenten Gasarten, den Dämpfen, sind diejenigen Bedingungen vorhanden, die bei der Schallfortpflanzung in Betrachtung kommen; es müssen daher in ihnen auf ganz gleiche Weise Wellen erzeugt werden, wie in der atmosphärischen Luft, und der Theorie nach scheint es, als könnten alle dabei vorkommende Verschiedenheiten aus den bekannten Eigenschaften der Gase, insofern diese von denen der atmosphärischen Luft abweichen, abgeleitet werden. Es kommen hierbei zwei Fragen in Betrachtung, zuerst die Stärke und zweitens die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung. Rücksichtlich der ersten Frage kennt man selbst bei der atmosphärischen Luft die Sache noch nicht vollständig. Es ist nämlich zwar bekannt, dafs die dichtere Luft den Schall stärker leitet, als die dünnere, und dafs er im stärksten Vacuum gar nicht wahrnehmbar bleibt, auch sind oben §. 75. Erfahrungen beigebracht worden, welche den Einflufs der Dichtigkeit der Luft auf die Stärke des in ihr fortgepflanzten Schalles deutlich beweisen, allein das Verhältnifs beider Gröfsen zu einander ist noch keineswegs völlig bestimmt und es stehn einer genauen Feststellung dieses Gesetzes auch insofern kaum übersteigliche Hindernisse entgegen, als wir kein Werkzeug haben oder für die vorliegende Aufgabe in Anwendung bringen können, durch welches die Stärke des Schalles nach dem Durchgange durch expansible Flüssigkeiten von ungleicher Dichtigkeit sich mit der erforderlichen Genauigkeit messen

---

1 Lichtenberg vermischte Schriften. Th. VIII. S. 229.

liefse. Schon Hawksbee[1] fand aus seinen Versuchen, dafs der Schall eines Weckers in verdichteter Luft verstärkt wurde, und in vielen Cabinetten finden sich noch Apparate, die bestimmt sind dieses zu zeigen, indem man sie unter einen Recipienten mit verdichteter Luft stellt und dann eine an ihnen befindliche Glock zum Tönen bringt, allein dieses ist mit keiner genauen Messung verbunden. Aehnliche Versuche haben s'Gravesande[2] und Zanotti[3] angestellt. Leslie[4] liefs eine Glocke unter einer mit Wasserstoffgas gefüllten Campane tönen, dessen Elasticität 28 engl. Zoll betrug, und fand den Schall nicht stärker als in hundertmal verdünnter Luft. Hiernach nimmt er an, dafs die Stärke des Schalles in den verschiedenen expansibeln Flüssigkeiten dem Quadrate ihrer Dichtigkeit proportional sey, welches also für Wasserstoffgas eine Dichtigkeit = 0,1 geben würde, die der atmosphärischen Luft als Einheit angenommen. Obgleich diese Bestimmung für gewöhnlich bereitetes Wasserstoffgas recht gut pafst, so übersieht man doch bald, dafs dabei von einer eigentlichen scharfen Messung die Rede nicht sey. Zahlreichere Versuche machte schon Priestley[5] mit Anwendung eines gleichen Apparates und gelangte gleichfalls zu dem Resultate, dafs die Stärke der Fortpflanzung ausschliefslich von der Dichtigkeit der Gase abhänge. Im Wasserstoffgas fand er den Schall fast so wenig hörbar als im Guericke'schen Vacuum, in kohlensaurem Gas soviel stärker, dafs die Entfernung ungefähr um die Hälfte mehr betrug, und auch Sauerstoffgas leitete den Schall besser, als seiner Dichtigkeit nach zu erwarten war. Am vollständigsten sind die auf ähnliche Weise angestellten Versuche von Prevolle[6], nach welchem jedoch die Leitungsfähigkeit des kohlensauren Gases geringer ist, als die der atmosphärischen Luft. Wird die letztere als Einheit angenommen, so ist die des Sauerstoffgases = 1,135, des Salpetergases = 1,23,

---

1 Phil. Trans. T. XXIV. p. 1902. T. XXVI. p. 367.

2 Elementa Phys. math. §. 2354.

3 Comment. Bonon. T. I. p. 173.

4 Ann. of Philos. 1822. Sept. p. 172. Cambridge Phil. Trans. T. I. p. 267. Edinb. Phil. Journ. N. XIII.

5 Experiments and observations cet. T. III. p. 355.

6 Mém. de l'Acad. de Toulouse 1781. Mém. de l'Acad. de Turin. 1786 u. 1787. T. III. Mém. des Etrang. I.

Digitized by Google

des kohlensauren Gases (aus Kreide und verdünnter Salpetersäure) = 0,82, des Wasserstoffgases = 0,234. Ueber die Stärke des Schalles in Dämpfen hat Biot[1] Versuche angestellt. Er brachte zu diesem Ende in einen Recipienten, worin sich eine Glocke zum Tönen befand, nach dem Auspumpen der Luft etwas Wasser, und fand, dafs er den Schall der Glocke gar nicht wahrnahm, so lange die Temperatur gering war, welcher jedoch schwach hörbar wurde, nachdem er den Apparat in ein heifseres Zimmer gebracht hatte. Als er nachher Alkohol und Aether hineinbrachte und diese nach dem Exantliren in Dampf verwandelt wurden, war bei gleichen Temperaturen auf gleiche Entfernungen der Schall in den Dämpfen des Aethers am stärksten und in denen des Wassers am geringsten.

87) Die zweite Frage, über die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung in den verschiedenen expansibeln Medien, ist neuerdings durch Dulong so vollständig beantwortet worden, dafs es genügen wird, hier nur die Resultate seiner Untersuchungen mitzutheilen, indem er dabei auch die frühern Arbeiten im diesem Gebiete berücksichtigt hat. Die ersten bekannten Versuche hierüber stellte Chladni[2] an, und da es unmöglich oder mindestens kaum ausführbar ist, so lange Räume mit den zu prüfenden Gasarten zu füllen, als vergleichbare Versuche über den Fortgang des Schalles durch dieselben erfordern würden, so wählte er das einfachere und zugleich sichere Mittel, die nämlichen Pfeifen durch verschiedene elastische Flüssigkeiten tönen zu lassen und aus der Tonhöhe die Schallgeschwindigkeit zu bestimmen. Zu den Versuchen, wobei ihn v. Jacquin durch die erforderlichen Apparate und R. Döttler nebst Tihavsky durch geleistete Hülfe unterstützten, bediente er sich einer zinnernen Pfeife, die auf einer Campane so befestigt war, dafs beide vorher in einer Wanne mit Wasser gefüllt werden konnten, um die enthaltene Gasart völlig auszutreiben. Alsdann wurde die Campane und eine an ihr befindliche Blase mit der zu prüfenden Gasart gefüllt, durch Gleichstellung der Wasserhöhe im Innern und aufserhalb der Campane die Elasticität der Gasart dem Barometerstande pro-

---

1 Mém. de la Soc. d'Arcueil. T. II. p. 94. Nouveau Bullet. de la Soc. Philom. 1808. Janv. p. 76. G. XXXIII. 237.

2 Voigts Magaz. Th. I. St. 3. S. 65. Akustik S. 226.

Digitized by Google

portional gemacht und dann durch Drücken der Blase ein Ton erzeugt. Zu besserer Vergleichung wurde allezeit zuerst atmosphärische Luft angewandt und dann der erzeugte Ton auf einem Monochorde genau gestimmt. Die erhaltenen Resultate stimmten jedoch nicht mit der Theorie, wonach die Geschwindigkeiten des Schalles in den Gasen den Quadratwurzeln aus ihren Dichtigkeiten nach Newtons Formel §. 69. umgekehrt proportional seyn müfsten, überein, vielmehr zeigten sich die durch folgende Zusammenstellung übersichtlichen Abweichungen.

Gasarten	Dichtigkeit	Geschwindigkeit in par. F.		
		Berechnet	Beobachtet	Unterschiede
Atmosphärische Luft . .	1,000	1038	1038	0000
Sauerstoffgas	1,103	988	955	— 33
Stickgas	0,985	1045	990	— 55
Wasserstoffgas	0,084	3580	2250	— 1330
Kohlensäure	1,500	847	840	— 7
Salpetergas	1,195	949	980	+ 31

Die Bestimmungen sind nicht absolut genau, jedoch die Unterschiede gröfser, als dafs das angenommene Gesetz mit diesen Resultaten in Einklang zu bringen wäre. Aufserdem bemerkte Chladni die merkwürdige Anomalie, dafs ein künstliches Gemenge von Sauerstoffgas und Stickgas die nämliche Geschwindigkeit der Fortpflanzung zeigte, als atmosphärische Luft, und dafs bei Verbindungen beider Gasarten in verschiedenen Verhältnissen die Fortleitungsgeschwindigkeit nicht dem arithmetischen Mittel aus beiden Mengen gleich kam. Ist endlich die Geschwindigkeit im Wasserstoffgas weit geringer, als sie der Theorie nach seyn sollte, so ist sie doch weit gröfser als in jeder andern Gasart, was auch mit dem Resultate einer zufälligen Beobachtung übereinkommt. Maunoir athmete nämlich Wasserstoffgas ein, was ihm keinen Nachtheil brachte, aber er fand nachher seine Stimme ungleich höher und schärfer[1].

---

1 Bibl. Brit. Nr. 79. 80. p. 347. Voigts Mag. II. 1. p. 118. G. II. 200.

Digitized by Google

Kerby und Merrik[1] stellten viele Versuche an, bei denen sie eine Pfeife und einen Blasebalg unter einen Recipienten brachten und durch letztern in der erstern Töne erzeugten, nachdem sie sie luftleer gemacht und dann mit der erforderlichen Gasart gefüllt hatten. Die beobachteten Tonhöhen wurden mit einem Monochord gemessen und daraus die Schallgeschwindigkeiten berechnet; indefs scheinen mir ihre nicht ohne Ueberwindung grofser Schwierigkeiten erhaltenen Resultate in Vergleichung mit dem, was später aufgefunden worden ist, einer nähern Beschreibung nicht werth zu seyn. Ebendieses scheint mir der Fall bei den früher sehr schätzbaren Versuchen von Benzenberg[2], wobei er sich nach der durch Chladni befolgten Methode einer Campane mit eingesenkter Pfeife und einer angebrachten Blase bediente, welche im hydropneumatischen Apparate mit der erforderlichen Gasart gefüllt wurden. Statt der blofs genäherten Temperaturbestimmung seines Vorgängers versah er die Campane zur genauern Messung mit einem Thermometer. Interessant ist die durch Benzenberg gegebene Zusammenstellung der Resultate der drei genannten Versuchsreihen.

Geschwindigkeit des Schalles bei 0° C., die in atmosphärischer Luft = 1027 par. F. angenommen.

	Chladni	Kerby u. Merrick	Benzenberg
Sauerstoffgas .	923	980	942
Stickgas . . .	966	1080	1032
Kohlensäure .	857	864	860
Salpetergas . .	970	1154	—
Wasserstoffgas .	2070	2180	2054

Die Unterschiede sind so bedeutend, dafs man nicht wohl umhin kann, die Ursache hiervon zum Theil in der befolgten Methode zu suchen. Gilbert bemerkt auch mit Recht, dafs es eine schwere Aufgabe sey, ganz reine Gase zu erhalten, dafs geringe Beimischungen schon einen bedeutenden Einfluss

1 Nicholson's Journ. of nat. phil. T. XXVII. p. 269. T. XXXIII. p. 161. G. XXXIX. 488.

2 G. XLII. 12.

Digitized by Google

haben können und daher die Resultate mit kohlensaurem Gase deswegen wohl am genauesten übereinstimmen, weil dieses Gas am leichtesten rein zu erhalten ist. Aufserdem zeigt derselbe, dafs alle drei Experimentatoren auf einen wesentlichen Umstand nicht Rücksicht genommen haben, nämlich auf die hygrometrische Beschaffenheit der Gase, dafs es daher bei solchen Versuchen besser seyn dürfte, sie mit vollkommen feuchten Gasen anzustellen und wegen des Feuchtigkeitszustandes zu corrigiren. Inzwischen beträgt diese Correction nicht viel, wie aus §. 69. zu entnehmen ist. Benzenberg hat auch Versuche über die Schallgeschwindigkeit in Dämpfen angestellt. Hierbei ist es interessant zu erfahren, mit welcher Leichtigkeit man diese anstellen kann, indem es hierzu weiter nichts bedarf, als eines hohlen Cylinders, den man in die obere Oeffnung eines mit Wasser gefüllten, über dem Feuer stehenden Gefäfses dampfdicht einsteckt und inwendig mit einer Pfeife versieht, in welcher die durchströmenden Dämpfe einen Ton erzeugen. Die gebrauchte Pfeife gab mit atmosphärischer Luft $\overline{\overline{c}}$ und durch die Dämpfe $\overline{\overline{d}} - \frac{1}{16}$. Die hinzugefügten Berechnungen übergehe ich, da es ihnen an hinlänglich scharfen Werthbestimmungen fehlt.

Unter den verschiedenen für diesen Zweck angegebenen Apparaten scheint mir derjenige am besten zu seyn, welchen Biot[1] beschreibt, indem er sich durch Einfachheit und eine leichte Behandlungsweise vor allen andern auszeichnet und wahrscheinlich noch einfacher dargestellt werden könnte, als er angegeben ist. Er besteht aus einem etwas grofsen Behälter M M, welcher als rund angegeben ist, besser aber länglich cylindrisch und mit einem Fufse versehn seyn könnte. Durch eine Oeffnung soll das Barometer b b in das Innere herabgesenkt werden, um die Dichtigkeit der Luft im Recipienten zu messen; allein dieses scheint mir überflüssig zu seyn und erschwert die Manipulation des Apparates ausnehmend, denn wenn der Ballon luftleer gemacht wird, so giebt das Barometer der Luftpumpe den Grad der Verdünnung an, bei der Erzeugung der Töne aber mufs die Gasart aus der Blase in die Pfeife strömen, was nicht wohl gehörig geschehn

Fig. 164.

1 Traité. T. II. p. 176.

Digitized by Google

kann, wenn die eingeschlossene Gasart eine von der äufsern Luft verschiedene Elasticität hat, endlich aber mufs jede zu prüfende Gasart stets mit der atmosphärischen Luft verglichen werden und mit dieser daher einerlei Spannung haben. Sehr zweckmäfsig ist dagegen das Verbindungsstück mit dem Hahn R, vermittelst dessen der Apparat auf die Luftpumpe geschraubt, exantlirt und dann mit der erforderlichen Gasart gefüllt werden kann. Diese Vorrichtung gewährt den Vortheil, dafs das Tönen durch das zu prüfende Gas und in demselben auf gleiche Weise als bei der atmosphärischen Luft geschieht, und man erhält nicht blofs hierdurch die Gasart möglichst rein, sondern auch durch Anwendung des leichten Hülfsmittels, dafs man zuerst nach dem Exantliren eine Quantität der zu untersuchenden Gasart in den Ballon strömen lassen und dann abermals exantliren kann, um damit die letzten Antheile der früher darin vorhandenen Luftart zu entfernen. Die im Recipienten befindliche Pfeife AB mit ihrem zur Hälfte herausstehenden Fufse und dem aufgesteckten Hahnstücke R' als Träger des Ballons V von Federharz ist aus der Zeichnung an sich klar. Biot bemerkt, dafs der Druck gegen diesen Ballon oder eine Blase stets gleichmäfsig geschehn müsse, weil ein stärkerer Luftstrom den Ton abändere; auch sey es vortheilhaft, die Pfeife auf die von Grenié vorgeschlagene Weise zu compensiren, woraus jener noch ein Geheimnifs mache, allein der gleichmäfsige Zufluls der Gasart ist allerdings nothwendig und mufs daher auf irgend eine Weise erstrebt werden; ist dann aber die Pfeife eine an beiden Enden offene, was am besten die Unveränderlichkeit des Tones bewirkt, so sind bei allen unter gleichem Barometerstande und in gleicher Temperatur angestellten Versuchen die sämmtlichen Bedingungen bis auf das tönende elastische Fluidum gleich und die Tonhöhen der atmosphärischen Luft und der zu prüfenden Gasart können also vermittelst eines Monochords gemessen werden.

Biot entwickelt die Formeln, vermittelst deren aus den Tonhöhen die Beschaffenheit der angewandten Gasart, ihre Dichtigkeit, ihre specifische Wärmecapacität u. s. w. aufzufinden sind; allein die hierbei erforderlichen Correctionen wegen Temperatur und Barometerhöhe erweitern die Grenze der möglichen Fehler, die Verhältnisse der Dichtigkeiten, in welchen

Digitized by Google

die elastischen Flüssigkeiten zu den Tonhöhen stehn, sollen eben durch diese Versuche erst ausgemittelt werden, die Hypothese von der Ausscheidung der Wärme ist aber oben §. 72. als unstatthaft dargestellt worden, und diesemnach reducirt sich die Aufgabe einzig auf die Auffindung der Schallgeschwindigkeit in den verschiedenen expansibeln Gasarten. Bei gleich langen Pfeifen, wenn bei unverändertem Thermometer- und Barometerstande und unter sonst gleichen Bedingungen zuerst der Ton mit atmosphärischer Luft und dann mit der zu prüfenden Gasart erzeugt wird, wenn man beide vermittelst eines geeigneten Apparates (etwa eines Monochords oder eines musikalischen Instruments) zur Bestimmung ihrer Tonhöhe mit einander vergleicht, wobei es am besten ist, den Ton der atmosphärischen Luft als Einheit anzunehmen, sind die Tonhöhen (§. 55.) den Geschwindigkeiten direct proportional und werden also diese letztern unmittelbar gefunden. Heifsen dann die Geschwindigkeiten V und V', die Dichtigkeiten D und D', so ist nach Newton's Formel §. 69.

$$V : V' = \frac{1}{\sqrt{D}} : \frac{1}{\sqrt{D'}},$$

mithin

$$D' = \frac{1}{V'^2},$$

und es kann hiernach untersucht werden, ob die anderweitig bekannte Dichtigkeit der mit der atmosphärischen Luft als Einheit verglichenen Gasart mit der aus der Schallgeschwindigkeit gefundenen übereinstimmt oder nicht. In letzterem Falle müfste die Schallgeschwindigkeit nicht blofs von der Dichtigkeit, sondern auch von der chemischen Natur der Gasarten abhängen.

Die meisten Versuche unter allen vor Dulong bekannt gewordenen machte Richard van Rees[1] unter der Leitung von G. Moll und gebrauchte dazu Apparate, die dem eben beschriebenen sehr ähnlich waren. Für Gasarten, die vom Wasser nicht verschluckt werden, bediente er sich der Cam-
Fig. 165. pane A mit der Pfeife B und einer durch den Hahn C verschliefsbaren Fassung. Auf diese wurde die Blase E mit ihrer

1 Dissertatio de celeritate soni cet. Traj. ad Rhen. 1819. Schweigg. N. Journ. III. S. 235.

Digitized by Google

Fassung und dem Hahn D aufgeschraubt, die vorher auf der Luftpumpe entleert war. Die Campane senkte er dann ins Wasser, liefs aus der Blase das erforderliche Gas einströmen, füllte die Blase wieder und brachte dann die Pfeife durch Einblasen des Gases zum Tönen. Für die sauren, mit Wasser mischbaren Gasarten gebrauchte er einen gefafsten Recipienten A mit der Pfeife B, dem Hahn G und dem biegsamen Rohre H, um vermittelst desselben und einer Luftpumpe das Gefäfs luftleer zu machen, wobei das Barometer I den Grad der Verdünnung und den nachherigen Luftdruck anzeigte, die Blase aber zu gleichem Zwecke wie im vorhergenannten Apparate diente. Um sie gegen den Einfluss der sauren Gasarten zu schützen, mufste eine starke, mit Birnsteinfirnifs überzogene Rindsblase genommen werden. Auch zur Untersuchung der Dämpfe wurde eine eigene Vorrichtung hergestellt, eine Kugel A, durch die Weingeistlampe C geheizt, aus welcher die Dämpfe beim Aufsteigen durch die Pfeife B strömten. Der Behälter D diente zur Aufnahme der Dämpfe und eines Thermometers, um die Hitze derselben zu messen; er war daher bedeckt, doch so, dafs die Dämpfe daraus entweichen konnten, und die Tonhöhe wurde erst dann gemessen, wenn alle Luft aus der Röhre und möglichst auch aus dem Cylinder entfernt war. Eine gleichmäfsige Strömung der Luft wurde als nothwendige Bedingung erkannt und durch einen unveränderten Druck der Blase erreicht, bei den Dämpfen aber durch vorsichtige Regulirung der Flamme, damit das Sieden nicht über eine gewisse Stärke hinausging, was aus der Gleichförmigkeit des Tones erkennbar war. Der erzeugte Ton wurde jederzeit mit demjenigen verglichen, welchen die atmosphärische Luft gab, und beide nach einem Monochorde bestimmt. Bei den Luftarten gaben die Längen der gleichstimmenden Saiten des Monochords die Geschwindigkeiten unmittelbar, bei den Dämpfen aber wurde eine Correction wegen der Temperatur erfordert. Sind nämlich die Saitenlängen des Monochords, die der Luft und dem Dampfe zugehören, l und l′, die Temperaturen t und t′, so ist die corrigirte Geschwindigkeit

Fig. 166.

Fig. 167.

$$333{,}7\,\frac{l\sqrt{(1+0{,}00375\,t)}}{l'\sqrt{(1+0{,}00375\,t')}}\ \text{Meter.}$$

Digitized by Google

Die folgende Tabelle giebt eine Uebersicht der erhaltenen Gröfsen.

Gasarten	Temperatur	Saitenlänge	Geschwindigkeiten beob.	Geschwindigkeiten berechnet
Atmosphärische Luft	- - -	1,000	333,7	333,7
Sauerstoffgas . .	15°,6	1,054	316,6	317,7
Stickgas	12,8	0,987	338,1	339,0
Wasserstoffgas . .	16,1	0,365	914,2	1233,3
Kohlensäure . .	14,4	1,212	275,3	270,7
Kohlenoxydgas .	10,6	1,053	316,9	341,1
Oxydirtes Stickgas	17,3	1,186	281,4	270,6
Salpetergas . . .	8,0	1,077	309,8	327,4
Oelerzeugendes Gas	10,0	1,050	317,8	337,4
Schwefelwasserstoffgas	10,0	1,047	318,7	305,7
Schwefelichtsaures Gas	8,0	1,456	229,2	229,2
Salzsaures Gas . .	8,9	1,079	309,3	298,8
Ammoniakgas . .	13,3	1,857	389,4	432,0
Wasserdampf . .	10,6	0,830	369,6	422,6
Alkoholdampf . .	14,0	1,090	289,1	262,7

Den Mangel an Uebereinstimmung der berechneten und der beobachteten Geschwindigkeiten sucht VAN REES aus dem Umstande abzuleiten, dafs man nach BERNOULLI nicht genau bestimmen kann, wo bei angeblasenen Pfeifen der Anfang der Wellen beginnt, und aus der ungleichen respectiven Wärme der tönenden Gasarten. Das erste Argument fällt vermuthlich dann weg, wenn die nämlichen Pfeifen auf gleiche Weise angeblasen werden, über das letztere habe ich mich bereits (§. 72.) erklärt, und es ist daher fraglich, ob das angenommene Gesetz, wonach die Schallgeschwindigkeiten den Quadratwurzeln aus den Dichtigkeiten umgekehrt proportional angenommen werden, der Sache nach wirklich für begründet zu halten sey. Es scheint dieses allerdings aus NEWTON's Formel nothwendig zu folgen, und ich sehe kaum ein Mittel, wie man dieses triftige Argument beseitigen könnte, es sey denn, dafs man sagen wollte, die Dichtigkeit der atmosphärischen Luft bilde in dieser Formel insofern einen Factor, als sie sich ihrem Wesen nach zu einer die Erde umgebenden Atmosphäre gestaltet habe, wobei es jedoch fraglich bleibe, ob eine der andern Gasarten auf gleiche Weise eine ihrer Dichtigkeit proportionale Atmosphäre gebildet haben würde. Im Ganzen scheint mir jedoch dieses Auskunftsmittel zur Ver-

Digitized by Google

einigung der Erfahrung mit der Theorie von geringer Bedeutung. Wichtiger dürfte dagegen die Vermuthung seyn, dafs der Factor der Dichtigkeiten bei manchen Gasarten nicht genau genug gewesen sey, da diese Bestimmung überhaupt schwierig ist und manche derselben durch Auflösung heterogener Körper ihre Dichtigkeit bedeutend ändern. Namentlich ist dieses beim Wasserstoffgas der Fall, welches in allen Versuchen die gröfsten Abweichungen zeigt, dessen Dichtigkeit aber eine geraume Zeit hindurch von den Chemikern sehr verschieden bestimmt wurde. Nach den eben mitgetheilten Resultaten fällt übrigens die oben erwähnte Schwierigkeit rücksichtlich der beiden die atmosphärische Luft bildenden Gasarten weg, indem die Summe der Geschwindigkeiten beider im gehörigen Verhältnisse vereint gerade die der atmosphärischen Luft giebt.

Dulong[1] stellte seine oben §. 46. bereits erwähnten schätzbaren Versuche zunächst in der Absicht an, um das Verhältnifs der specifischen Wärme unter beständigem Drucke zur specifischen Wärme bei gleichbleibendem Volumen oder den oben §. 70. genannten Factor k bei den Gasarten zu finden, welcher allerdings bei ihnen verschieden seyn mufs, wenn wir annehmen, dafs hierauf die Abweichung der theoretischen Geschwindigkeit von der beobachteten beruht, wie Dulong als ausgemacht betrachtet und daher die Ungleichheit der Schallgeschwindigkeit in der Absicht mifst, um jenen Coefficienten hierdurch zu ermitteln. Seine Versuche unterscheiden sich von den bisher erwähnten dadurch, dafs er die mit gleichmäfsiger Geschwindigkeit zuströmenden Gase vorher austrocknete und sonach den Einflufs der Feuchtigkeit vermied, auch zählte er die in gleichen Zeiten erfolgenden Schwingungen vermittelst der Sirene. Aufserdem ermittelte er die absolute Schallgeschwindigkeit in atmosphärischer Luft aus der Länge der tönenden Pfeife und fand diese für 0° C. Temperatur = 333 Meter[2], was von der oben §. 67. erhaltenen

---

1 Ann. Ch. et Phys. T. XLI. p. 113.

2 Die Resultate, welche W. Weber aus seinen Versuchen mit Zungenpfeifen rücksichtlich der Schallgeschwindigkeit gefunden hat, enthebe ich mich genauer zu prüfen. S. Poggendorff's Ann. XVII. 193.

Digitized by Google

nur unmerklich abweicht. Hiernach machen also seine Versuche ein für sich bestehendes vollständiges Ganzes aus. Die Resultate derselben zeigt die nachfolgende tabellarische Zusammenstellung, zu deren Beurtheilung Folgendes dient. Heifsen n und n′ die Schwingungsmengen, welche die atmosphärische Luft und die zu prüfende Gasart in der nämlichen Pfeife geben[1], ihre Dichtigkeiten 1 und p, die Temperaturen t und t′ in Centesimalgraden und k der bezeichnete Factor, so hat man

$$n : n' = \sqrt{(1+0{,}00375\,t)}\,\sqrt{k} : \frac{\sqrt{(1+0{,}00375\,t')}\,\sqrt{k'}}{\sqrt{p}},$$

worin k′ allein unbekannt ist, wenn man annimmt, dafs k aus der Vergleichung der theoretischen Schallgeschwindigkeit mit der aus Beobachtungen entnommenen zu finden sey.

---

1 Diese Schwingungsmengen oder die Summe der Vibrationen der Töne werden durch die gemessenen Tonhöhen unmittelbar gegeben, wie oben bereits bemerkt worden ist. Dabei kann der durch atmosphärische Luft erzeugte als Einheit gelten. Dulong suchte jedoch gröfsere Genauigkeit zu erhalten und bestimmte die Vibrationsmengen jedes einzelnen Tones vermittelst der Sirene, wie ich von ihm verstanden zu haben glaube.

Digitized by Google

Gasarten	Töne	Vibrat.	Temp.	Dichtigk.	Geschwindigk. berechn.	Geschwindigk. beob.	Geschwindigk. k′
Atm. Luft	c̄	500,4	22°	1	279,29	333 M.	1,421
Sauerstoffgas	h +	474,9 475,2 474,5	21	1,1026	266	317,17	1,415 1,417 1,413
Wasserstoffgas	≡ h —	1883,6 1881	17	0,0688	1064,8	1269,5	1,409 1,405
Kohlensäure	g	393,18 392,68	22 20,5	1,524	226,24	261,6	1,337 1,340
Kohlenoxydg.	c̄ +	501,3 503,07	15	0,974	283	337,4	1,423 1,433
Oxyd. Stickgas	g	392,7	20,5	1,527	226	261,9	1,343
Oelerzeug. Gas	h —	466,9	16	0,981	281,99	314	1,240

Wäre als ausgemacht zu betrachten, dafs die Schallgeschwindigkeiten in den verschiedenen Gasarten deren Dichtigkeiten umgekehrt proportional anzunehmen sind, ohne Rücksicht auf ihre chemische Beschaffenheit, so scheint es auf den ersten Blick, als ob die in der letzten Columne für k′ erhaltenen ungleichen Werthe blofs aus den verschiedenen Wärmecapacitäten derselben erklärt werden könnten, woraus dann ein sehr gewichtiges Argument für die Zulässigkeit der La Place'schen Hypothese folgen würde. Es stehn dieser jedoch die oben gewürdigten so bedeutenden Argumente entgegen, dafs ich keinen Anstand nehme, gegen die vollgültige Beweiskraft der übrigens sehr mühsamen, trefflich ausgesonnenen und schätzbaren Versuche Dülong's einige Zweifel zu erheben. Zuvörderst ist oben bereits nachgewiesen worden, dafs das von Dülong angewandte Mittel, die absoluten Schwingungsmengen eines Tones vermittelst der Sirene zu zählen, keineswegs zu den sichersten gehört, vielmehr eine bedeutend weite Fehlergrenze gestattet, denn er fand (§. 50.) für ā nur 834 Schwingungen, statt dafs Scheibler für die tiefste Pariser Stimmgabel 853,5, für die höchste aber 881,4 und für die von den besten Künstlern in Paris verfertigten im Mittel 868,7 erhielt.

Die Schwingungsmengen sind aber von dem bedeutendsten Einflusse auf die gesuchten Werthe von k', wie man daraus ersieht, dafs beim Kohlenoxydgas ein Unterschied von 1,77 Vibrationen bei einer Mittelzahl von 502,18 den Factor k' von 1,423 auf 1,433, also um 0,01 erhöht. Angenommen der Fehler bei der Bestimmung der ä gebenden Vibrationen liefse sich aus dem genau gefundenen Mittel der Pariser Stimmgabeln entnehmen und betrüge demnach 868,7 — 834 = 34,7 Schwingungen, so würde nach dem angegebenen Verhältnisse der geringste Werth von k', nämlich der für ölerzeugendes Gas gefundene, auf 1,440 erhöht und also vom geringsten zum gröfsten werden. Wer die oben angegebenen Schwierigkeiten genugsam würdigt, die Stimmung eines Tones durch das blofse Ohr genau zu unterscheiden, und hinzunimmt, wie schwer es ist, mit der Sirene bis auf einzelne Vibrationen genau zu zählen, wird solche Fehler nicht übermäfsig grofs finden, um so mehr, wenn der Ton durch eine Labialpfeife erzeugt, also stets etwas schwankend und nicht hinlänglich scharf ist. Bei den Tönen der Pfeifen kommt vermuthlich noch die Strömungsgeschwindigkeit der Gase in Betrachtung, die gröfser oder geringer ist, wenn sie durch gleiche Oeffnungen fliefsen, wodurch der Stofs gegen die in der Röhre enthaltene Luftsäule mehr oder minder energisch seyn und die Tonhöhe hierdurch verändern kann. Diesemnach möchte ich auf die erhaltenen Resultate kein so hohes Gewicht legen und die Unterschiede der für k' gefundenen Werthe vielmehr als Beobachtungsfehler betrachten, da sie mit Rücksicht auf die nachgewiesenen Schwierigkeiten genauer Bestimmungen an sich nicht bedeutend sind, die von verschiedenen Beobachtern gefundenen Gröfsen aufserordentlich von einander abweichen, der für Kohlensäure gefundene Werth bei allen übrigen Beobachtern fast gleich, blofs bei Dulong sehr klein ist und letzterer für ölerzeugendes Gas eine ungleich kleinere Gröfse, als namentlich der mit grofser Genauigkeit experimentirende van Rees gefunden hat, aus seinen Versuchen folgert.

C. Fortpflanzung des Schalles durch tropfbare Flüssigkeiten.

88) Tropfbare Flüssigkeiten sind zwar allerdings einer Zusammendrückung fähig[1], allein sie sind so wenig elastisch, dafs sie sich zur Erzeugung des Schalles überall nicht eignen, und wenn von Werkzeugen, die durch Wasser tönen, die Rede ist, wie die *Wasserorgel* des Ctesibius, so sind diese Vorrichtungen, bei denen die durch strömendes Wasser comprimirte Luft in Pfeifen bläst und diese zum Tönen bringt. Man bezweifelte daher anfangs die Leitungsfähigkeit derselben für den Schall, konnte dieses aber mit den Gehörwerkzeugen der Fische und sonstiger Wasserthiere nicht in Einklang bringen, insbesondere da man beobachtet zu haben glaubte, dafs abgerichtete Fische durch den Ton einer Pfeife herbeigelockt werden könnten, was andere daraus herleiten wollten, dafs sie den Lockenden sähen, obgleich der Erfolg sich auch bei Nacht zeigte. Bei den älteren Untersuchungen über die Gehörwerkzeuge der Fische wurde daher stets die Frage über die Fortleitung des Schalles durch Wasser mit abgehandelt, z. B. durch Klein[2], Baker[3] und hauptsächlich durch Nollet[4]. Zugleich berief man sich auf Erfahrungen, wonach Taucher zwar schwach, aber doch deutlich unter Wasser gehört haben wollten[5]. Hawksbee[6], Anderon[7], Musschenbroek[8] und hauptsächlich Nollet[9] stellten viele Versuche hierüber an, ja letzterer tauchte sogar selbst unter Wasser, um sich durch eigene Erfahrung zu überzeugen, konnte aber dem Einwurfe nicht begegnen, dafs der Schall durch den Erdboden und den Pfahl, an welchem er sich unter dem Wasser hielt, fortgeleitet worden sey, widerlegte dagegen ein anderes Argument, nämlich

---

1 Vergl. *Elasticität*. Bd. III. S. 205.

2 Mantissa ichthyol. de sono et auditu piscium. Lips. 1746. 4.

3 Phil. Trans. N. 486. Daraus in Hamb. Mag. Th. V. S. 655.

4 Sur l'ouie des Poissons. Mém. de Par. 1743. p. 9. G. XLIV. 346.

5 Journ. des Savans. 1678. p. 417.

6 Philos. Trans. T. XXVI. p. 371.

7 Ebend. N. 486.

8 Introductio. T. II. §. 2267.

9 Leçons de Phys. T. III. p. 417.

dafs der Schall nicht eigentlich durch das Wasser, sondern durch die darin enthaltene Luft fortgepflanzt werde, vollständig durch die Versuche, die er mit ausgekochtem und vermittelst der Luftpumpe von Luft befreitem Wasser anstellte; überhaupt mufs man gestehn, dafs schon Nollet die Aufgabe genügend beantwortet habe[1]. Keinen Zweifel lassen ferner die Versuche von Monro[2] übrig, welcher als guter Schwimmer selbst untertauchte und dann den Schall einer in beträchtlicher Entfernung in einem Nachen abgeschossenen Pistole deutlich hörte. Die gehaltreichsten und bekanntesten älteren Versuche sind aber die von Perolle[3], welcher eine Taschenuhr nach Verstopfung der Fugen an einem Faden in ein Glas mit tropfbaren Flüssigkeiten gefüllt herabhängen liefs und sich hierdurch nicht blofs von der Leitungsfähigkeit des Wassers für den Schall im Allgemeinen überzeugte, sondern auch auf gewisse Weise den Unterschied der Stärke dieser Schallfortpflanzung durch verschiedene Flüssigkeiten ausmittelte, indem er das Ticken der nämlichen Uhr in der Luft auf 8 Fufs, in Wasser auf 20 F., in Olivenöl auf 16 F., in Terpentinöl auf 14 F. und in Weingeist auf 21 F. Entfernung hörte. Es ist jedoch wohl zu berücksichtigen, dafs hierdurch kein eigentliches Mafs angegeben wird, weil der Schall aus der tropfbaren Flüssigkeit wieder durch die Luft fortgehn mufste, um ins Ohr zu gelangen. Wirklich ist die Fortleitungsfähigkeit der tropfbaren Flüssigkeiten ungleich gröfser, als sie diesen Bestimmungen nach zu seyn scheint, wie schon aus B. Franklin's[4] Zeugnisse hervorgeht, dafs er das Zusammenschlagen zweier Steine unter Wasser auf eine gröfsere Entfernung als eine halbe engl. Meile gehört habe. Hiervon kann man sich leicht durch einen einfachen Versuch überzeugen, wenn man in einem Zimmer die Pendelschläge einer Wanduhr abwechselnd durch die Luft und durch das Wasser in einem Gefäfse hört, worein man das eine Ohr taucht, während das andere verstopft gehalten wird. Durch diesen und durch einige an-

1 G. XLIV. 346.

2 Vergleichung des Baues u. d. Physiol. d. Fische. Aus d. Engl. Leipz. 1787. 4.

3 Mém. de l'Acad. Roy. de Turin. 1790. T. V. p. 195. G. III. 167. Journ. de Phys. T. XLIX. p. 382.

4 Letters by Dr. Franklin. l. XLIV. vom 20. Juli 1762.

Digitized by Google

dere Versuche habe ich mich selbst von der starken Leitungsfähigkeit des Wassers und der noch gröfsern des Quecksilbers überzeugt[1]. SAVART[2] setzte die Fortpflanzungsfähigkeit des Schalles bei tropfbaren Flüssigkeiten voraus und suchte daher auszumitteln, auf welche eigenthümliche Weise diese Fortleitung geschieht. Dieses bewerkstelligte er dadurch, dafs er feste Körper mit Wasser in Verbindung brachte, so dafs der Schall zuerst dem Gefäfse, dann dem darin enthaltenen Wasser und von diesem wieder dem festen Körper zugeführt wurde, wobei sich ergab, dafs das Wasser auf gleiche Weise und durch eben solche Wellen den Schall leitet, als dieses bei festen Körpern und auch bei der Luft geschieht.

89) Durch alle diese Untersuchungen war zwar die Frage über die Leitungsfähigkeit der tropfbaren Flüssigkeiten vollständig entschieden worden, auch geht aus denselben überzeugend hervor, dafs sie bedeutend stärker ist, als bei gasförmigen, indem sie vielmehr der durch feste Körper sich mehr nähert, allein über die Geschwindigkeit des Schalles in solchen Medien war nichts ausgemacht, obgleich diese Aufgabe kaum schwerer ist, als die Auffindung der Schallgeschwindigkeit in der atmosphärischen Luft. Die Frage ist indefs neuerdings auf eine genügende, dem gegenwärtigen Standpuncte der Wissenschaften angemessene Weise durch COLLADON und STURM beantwortet worden[3]. Sie theilen zugleich die Resultate einer Reihe von Versuchen mit, die BEUDANT früher angestellt hatte, selbst aber wegen mangelhafter Vorrichtungen für zu wenig genau hielt, um sie bekannt zu machen. Seine Versuche wurden auf dem Meere bei Marseille angestellt, wo zwei Kähne in einer gemessenen Entfernung von einander befestigt waren. In dem einen derselben schlug ein Gehülfe an eine unter Wasser befindliche Glocke und gab zugleich ein Zeichen, welches von dem Beobachter im andern Kahne bemerkt wurde, während ein anderer unter dem Wasser die Ankunft des Schalles anzeigte; allein hierbei stand die Schwierigkeit entgegen, diese Anzeige schnell genug zu machen. Als mittleres

---

1 G. XLVIII. 91.

2 Ann. Chim. et Phys. T. XXXI. p. 283. Bearbeitet durch WEBER in Schweigger's Journ. LI. 298.

3 Ann. Chim. Phys. XXXV. 113. G. LXXXVIII. 39.

Resultat wurde eine Schallgeschwindigkeit von 1500 Metern in einer Secunde gefunden.

Die oben genannten Gelehrten wählten süfses Wasser zu ihren Versuchen, dessen Zusammendrückbarkeit sie vorher bestimmt hatten. Als Station diente die gröfste Entfernung, die Colladon auf dem Genfersee über allseitig hinlänglich tiefem Wasser zwischen Thonon und Rolle zu erhalten vermochte, und diese betrug zwischen beiden Booten nach genauen Messungen 13487 Meter. In dem einen Boote befand sich der Gehülfe, welcher nach verabredeten Zwischenzeiten vermittelst des Hebels m den Hammer M gegen die etwa 0,7 Meter hohe Glocke schlug, wobei zugleich die Zündruthe l das zum Signale dienende Schiefspulver p im Betrage von 0,25 ℔ berührte. Das Aufblitzen dieses Pulvers und das Anschlagen der Glocke geschah also gleichzeitig und wurde von Colladon im Boote der andern Station beobachtet. Zur Zeitmessung diente ein mit einem leichten Drücker versehenes Chronometer, welches arretirt wurde bis zum Erscheinen des Blitzes, dann bis zur abermaligen Arretirung beim ersten Wahrnehmen des Schalles fortging und auf diese Weise die Zeit bis auf 0,25 Secunde genau mafs. Die Beobachtungen liefsen sich leicht mit grofser Schärfe anstellen, sowohl die des momentanen Aufblitzens, als auch die des Schalles, welcher keineswegs langdauernd, gleichsam tönend, sondern kurz war und dem Zusammenschlagen zweier Messerklingen glich. Colladon bemerkt, dafs aus der Zwischenzeit zwischen der Wahrnehmung und der Arretirung des Chronometers ein Beobachtungsfehler entstehn mufste, welcher jedoch wegfällt, wenn er bei beiden Beobachtungen als gleich grofs angenommen wird; indefs ist Colladon geneigt, den ersten für etwas gröfser zu halten, weil die Wahrnehmung des Signals unerwartet kam, die des Schalles aber dann erwartet wurde. Inzwischen ist dieses wohl nicht mit absoluter Gewifsheit anzunehmen, da es immer fraglich bleibt, ob überhaupt und namentlich bei diesem speciellen Beobachter eine Wahrnehmung durch das Ohr oder durch das Auge schneller wirkt, mit Sicherheit aber darf vorausgesetzt werden, dafs der Unterschied beider Fehler oder der wirklich vorhandene Fehler die angenommene Gröfse von 0,25 Secunde nicht erreicht und daher füglich vernachlässigt werden kann. Da der Schall über dem Wasser nicht wahr-

Fig. 168.

Digitized by Google

nehmbar, das Eintauchen des Ohrs aber beschwerlich war, so wurde eine Art von Hörrohr aus Blech, bestehend aus einer Röhre von Blech, 5 Meter lang, unten mit einer Erweiterung, die durch eine gegen die Schallwellen gerichtete, 20 Quadratcentimeter haltende Platte bedeckt war, ins Wasser gesenkt und deren obere konisch zulaufende und etwas schräg gerichtete Oeffnung gegen das Ohr gehalten. Die grofse, nirgends unterbrochene, fast überall gleichmäfsige Tiefe des Sees, im Mittel von 140 Meter, die Klarheit und Reinheit seines Wassers, welches nach den Analysen von TINGRY nur etwa $\frac{1}{1000}$ an festen Bestandtheilen enthält, kam bei diesen Versuchen sehr zu statten. Drei Reihen von Beobachtungen, im Ganzen 44 einzelne, die zwischen 9 und 9,5 Secunden lagen, gaben einen Mittelwerth von etwas mehr als 9,25, und dieser läfst sich also mit Rücksicht auf die oben erwähnte Verzögerung möglichst genähert zu 9,4 Secunden annehmen. Diesemnach beträgt die Schallgeschwindigkeit im Wasser Fig. 169.

$$V = \frac{13487}{9{,}4} = 1435 \text{ Meter in } 1 \text{ Secunde.}$$

Um zu finden, wie sich diese gefundene Gröfse zu der aus der Theorie folgenden Bestimmung verhält, wird eine Anwendung des Axioms gemacht, welches durch LA PLACE[1] aufgestellt worden ist. Dieser nimmt nämlich sehr sinnreich an, dafs bei den Schallwellen, wenn sie in gasförmigen, tropfbarflüssigen und festen Körpern fortgepflanzt werden, die Bewegungen der Molecülen in Folge der Zusammendrückungen und der mit diesen wechselnden Ausdehnungen einander mitgetheilt werden. Ist dann ein Körper von einer gewissen Länge gegeben, weifs man, um den wievielsten Theil er durch ein dem seinigen gleiches Gewicht zusammengedrückt werde[2], und nennt man diesen m, so ist der Raum, welchen der Schall während einer Sexagesimalsecunde in demselben durchläuft, $= \frac{\sqrt{2g}}{m}$, den Werth von g nach der gewöhnlichen Bezeichnung dem Fallraume in der nämlichen Zeit gleichgesetzt. Wird hierin nach CANTON's Versuchen die Zusammendrückbarkeit des Wassers $= 0{,}0000425$ gesetzt, so findet LA PLACE die

1 Ann. Chim. Phys. T. III. p. 164.

2 Vergl. *Modulus der Elasticität.* Bd. III. S. 210.

Schallgeschwindigkeit für Flufswasser = 1525,8 und für Seewasser = 1620,9 Meter. Colladon und Sturm haben die Elemente ihrer Berechnung sehr scharf bestimmt. Sie finden das specifische Gewicht dieses Wassers bei 4° C., also im Puncte seiner gröfsten Dichtigkeit, gegen destillirtes = 1,00015, weil aber das Volumen des Wassers bei 8° C. als der Temperatur, wobei die Beobachtungen gemacht wurden, sich um 0,00013 vergröfsert, so kann sein spec. Gewicht bei dieser Temperatur unbedenklich = 1 gesetzt werden. Die Zusammendrückbarkeit dieses Wassers konnte zwar füglich der des destillirten gleich gesetzt werden, sie wurde jedoch eigends vermittelst des *Piezometers* gemessen und für 8° C. Temperatur der des reinen Wassers bei 0° C. gleich, nämlich 49,5 Milliontel gefunden. Sie benutzten dann ferner die von Poisson[1] gefundene Formel, wonach die Schallgeschwindigkeit

$$V = \sqrt{\frac{Pk}{D\varepsilon}}$$

ist. Hierin bezeichnet D die Dichtigkeit, k die Länge einer Säule unter einem bekannten Drucke, ε die kleine Verkürzung dieser Säule für einen gegebenen Zuwachs im Drucke P. Demnach ist für das zu untersuchende Wasser k = 1000000, ε = 49,5, und wenn für P der Druck einer Atmosphäre von 0,76 Meter Quecksilberhöhe bei 10° Temperatur genommen wird, bei welcher das Manometer bestimmt wurde, γ die Dichtigkeit des Quecksilbers und g den Fallraum in einer Secunde bezeichnet, so ist $P = 0{,}76 \times 2g \cdot \gamma$. Nimmt man ferner das spec. Gewicht des Quecksilbers bei 0° C. gegen Wasser im Puncte seiner gröfsten Dichtigkeit = 13,568 und die Volumensvermehrung desselben für 1° C. = 0,00018, so wird

$$\gamma = \frac{13{,}568}{1{,}0018} = 13{,}544 \text{ und also } P = (0^m{,}76)\,(9{,}8088)\,(13{,}544).$$

Diese Werthe in die Formel substituirt geben die theoretische Schallgeschwindigkeit für süfses Wasser V = 1428 Meter = 4396,02 par. Fufs, welches von der durch die Versuche erhaltenen = 1435 Meter oder 4417,57 par. Fufs um nicht mehr abweicht, als die Fehlergrenze beträgt, wonach eine Correction wegen ausgeschiedener Wärme unnöthig scheint,

---

1 Mém. de l'Institut pour 1819. p. 396.

was mit dem Resultate der Versuche übereinstimmt, wonach ebendiese Gelehrten gefunden haben, dafs durch Compression der tropfbaren Flüssigkeiten keine Wärme entbunden wird[1].

90) Die genannten Beobachter haben bei diesen Versuchen einige Eigenthümlichkeiten des Schalles im Wasser wahrgenommen, die noch eine Erwähnung verdienen. Zuerst ist kein klingender Ton wahrnehmbar, wie beim Fortgange durch die Luft (indem der Schall einer aus beträchtlicher Ferne gehörten Glocke in ein anhaltendes Klingen übergeht), sondern ein kurzer Stofs. Es ist dieses eine Folge der geringen Elasticität des Wassers, welches durch die mitgetheilten Pulsus nicht, wie die sehr elastische Luft, in eigene Schwingungen übergeht. Nach der Theorie ist bei den Schwingungen einer Flüssigkeit die Dauer der Bewegung eines Theilchens gleich dem Radius des Kugelstückes, welches man als ursprünglich erschüttert annimmt, dividirt durch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, wovon die erstere kleiner, die letztere aber

---

1 Diese Formel auf atmosphärische Luft angewandt führt zu dem nämlichen Resultate, welches oben §. 73. gefunden worden ist. Hierfür ist dann $\frac{P}{D} = (0^m,76)\ (9,8088)\ (10466,8)$ mit dem geringfügigen Unterschiede, dafs oben der mittelste Factor genauer $= 9,8058$ angenommen wurde. Dafs zu dieser Gröfse ein Factor für die Zusammendrückung hinzukommen müsse oder dafs dieselbe durch $\frac{k}{\epsilon}$ zu dividiren sey, mithin dafs nicht der Unterschied des aus $\sqrt{\frac{P}{D}}$ hervorgehenden Resultates von der durch die Erfahrung gefundenen Schallgeschwindigkeit blofs als Folge der ausgeschiedenen Wärme betrachtet werden könne, geht aus der Formel selbst mit Evidenz hervor. Wird aber mit Rücksicht auf das Mariotte'sche Gesetz der Factor $\frac{k}{\epsilon} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ angenommen, so folgt hieraus

$$\log. \frac{P}{D} = 4,8922485$$
$$\log. \frac{k}{\epsilon} = 0,1505150$$
$$5,0427585$$
$$:2$$
$$\log.\ V = 2,5213792,$$

welches 332,18 Meter mit der Erfahrung übereinstimmend giebt.

Digitized by Google

gröfser bei Wasser ist, als bei der Luft, wonach also die Dauer nothwendig kleiner seyn mufs.

Eine zweite Bemerkung ist, dafs die Schallwellen nicht aus dem Wasser in die Luft übergehn, wenn die im Wasser fortgehenden Wellen die Oberfläche unter einem sehr spitzen Winkel treffen; denn in einem gröfsern Abstande als 200 Meter von der Glocke hörte man den Ton derselben mit bedeutender Abnahme schwächer und in 400 bis 500 Meter Entfernung vernahm auch das dicht über das Wasser gehaltene Ohr gar nichts mehr. Ebenso wurde der Schall bedeutend geschwächt, wenn bei einer absichtlich deswegen angestellten Versuchsreihe eine über die Oberfläche des Wassers hervorragende Mauer die gerade Richtung der Schallwellen unterbrach. Colladon und Sturm finden in beiden Erscheinungen eine Aehnlichkeit mit dem Verhalten des Lichts, dessen Wellen an den Oberflächen der Körper modificirt werden. Obgleich die Phänomene des Lichts und des Schalles auch übrigens grofse Uebereinstimmung zeigen, die sehr natürlich auf die hier gegebene Erklärung führt, so folgt doch auch aufserdem die letzte Erscheinung aus der Schwierigkeit des Ueberganges der Schallwellen in verschiedene Körper, die später §. 96. erörtert werden soll, die erste aber auch daraus, dafs nur in der Nähe die nicht weit ausgedehnten Bebungen des Wassers und des Apparats, woran die Glocke hing, die umgebende Luft in keine andere als schwache Vibrationen versetzen konnten, deren Wirkung auf das Ohr sich nicht weit erstreckt. Sehr interessant ist endlich die Bemerkung, dafs die Wellen, wodurch das Wasser mechanisch bewegt wird, auf die Fortpflanzung des Schalles keinen Einflufs haben; denn am letzten Tage war der See so unruhig, dafs die Boote kaum festzuhalten waren, und dennoch war die Stärke und Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung unverändert. Hier findet also etwas Aehnliches, als bei der Luft statt.

91) Eine Anwendung auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit sonstiger Flüssigkeiten läfst sich aus diesen Betrachtungen leicht entnehmen, indem dieselbe theoretisch vermittelst der angegebenen Formel bestimmt werden kann, Versuche hierüber, aufser mit Seewasser, dürften aber wegen unüberwindlicher Schwierigkeiten aufser dem Bereiche der Möglichkeit liegen. Dem analytischen Ausdrucke zufolge ist die Geschwin-

Digitized by Google

digkeit der Quadratwurzel aus der Dichtigkeit umgekehrt proportional. Ganz anders verhält es sich mit der Stärke der Fortpflanzung, die nach v. Arnim[1] den Versuchen von Perolle gemäfs den Dichtigkeiten im einfachen Verhältnisse nahe genau direct proportional seyn soll; allein zu einer scharfen Bestimmung sind jene Versuche nicht genügend. Wenn man aber dasjenige berücksichtigt, was oben §. 88. über die starke Leitungsfähigkeit der tropfbaren Flüssigkeiten für den Schall gesagt worden ist, namentlich das Zeugnifs von B. Franklin, wobei jedoch wohl zu berücksichtigen ist, dafs für eine ungestörte Fortpflanzung der Schall in den Flüssigkeiten erzeugt werden und durch dieselben unmittelbar zum Ohre gelangen mufs, wenn die Stärke ihrer Leitungsfähigkeit geprüft werden soll, so ergiebt sich hieraus leicht, dafs Versuche dieser Art mit allzugrofsen Schwierigkeiten verbunden sind, als dafs sich eine genügende Lösung der Aufgabe so leicht erwarten liefse.

D. Fortpflanzung des Schalles durch feste Körper.

92) Dafs der Schall durch feste Körper fortgepflanzt werde, und zwar ungleich stärker und schneller als durch die Luft, wufste man seit langer Zeit, und es geht dieses auch schon daraus hervor, dafs man einen Wecker unter einer Campane und den auswärts erregten Schall im überall verschlossenen Zimmer hört. Selbst diejenigen Schallwellen, die zu schwach sind, um durch die Luft geleitet das Ohr zu afficiren, werden hörbar, wenn feste Körper, insbesondere Stangen, Drähte oder auch nur straff angespannte Fäden zur Fortpflanzung dienen. Dieses wird durch die interessanten Versuche anschaulich, wenn man Glasröhren, silberne Löffel oder sonstige elastische Stäbe und Scheiben an einem oder zwei Fäden aufhängt und die Enden derselben nach dem Anschlagen der tönenden Körper mit den Fingern in den Gehörgang bringt, in welchem Falle man Töne wie von einer fernen sehr grofsen Glocke wahrnimmt[2]. Auf gleiche Weise läfst sich die ausge-

---

1 G. IV. 113.

2 Hexhold hat in Verbindung mit Rafn Versuche dieser Art im Grofsen angestellt, indem sie einen Faden auf 300 Ellen lang an-

zeichnete Leitungsfähigkeit fester Körper an einem beliebig langen, über eine bis zwei Linien dicken Metalldrahte anschaulich machen, wenn man das eine Ende desselben mit etwas Zwirn oder Baumwolle umwickelt in den Gehörgang bringt und das andere mit einem Stecknadelknopfe kaum berührt, wobei aber dennoch jeder Stofs deutlich vernommen wird. Auf der leichten Fortpflanzung des Schalles durch feste Körper beruht das bereits erwähnte[1] Hören durch andere Theile des Kopfes, wenn man diese vermittelst stark leitender Körper mit den tönenden in Verbindung setzt, und überhaupt reden schon Kircher[2], Boerhave[3], Peter Kamper[4] und andere von dieser Sache als einer allgemein bekannten, wofür sie auch noch jetzt gilt, weswegen es keiner eigentlichen Beweise und keiner speciell namhaft zu machenden Autoritäten bedarf.

93) Eine ungleich stärkere Fähigkeit der Schallfortpflanzung der festen Körper, als der tropfbaren Flüssigkeiten und noch mehr als der Gasarten, zeigen selbst die rohesten Beobachtungen, aber das Verhältnifs der Stärke unter jenen und gegen die letztern ist noch kaum mit nur irgend einer Genauigkeit untersucht worden. Nach den wenigen hierüber vorhandenen Versuchen hängt diese theils von der Form theils von der Natur der leitenden Substanzen ab. Im Allgemeinen leiten lange, insbesondere fadenförmige Körper besser als grofse Massen und etwas dickere Drähte stärker als sehr dünne[5]. Die ersten genaueren Versuche zur Bestimmung der Leitungsfahigkeit fester Körper machte Perolle[6] und fand die Hölzer am stärksten den Schall leitend, weniger Metalldrähte und noch weniger Schnüre und Fäden. Die nach den Längenfibern geschnittenen Hölzer leiteten in folgender Ordnung: Tan-

---

spannten, einen silbernen Löffel an das eine Ende hingen und das andere zum Ohre führten oder zwischen die Zähne faſsten. S. Reil's Archiv für Phys. Th. III. Hft. 2.

1 S. *Gehör*. Bd. IV. S. 1212.

2 Musurgia. L. I. sect. VII. cap. 7.

3 Praelect. in Institut. Rei medicae. T. IV. p. 414.

4 Kleine Schriften. Bd. I. Hft. 2.

5 Nach meinen Versuchen. G. XLVIII. 100.

6 Mém. de l'Acad. de Turin. 1791 u. 92. T. V. p. 195. Daraus in Voigt's Mag. T. X. St. 2. p. 39. G. III. 168.

Digitized by Google

ne, Campeche, Buxbaum, Eiche, Kirschbaum, Kastanie; die Metalle: Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Zinn, Blei; Fäden und Schnüre: Darm, Haare, Seide, Hanf, Leinen, Wolle, Baumwolle. Er untersuchte auch Zink, Antimon, Glas, Salz, Gyps, getrockneten Thon und Marmor, unter denen letzterer am schlechtesten leitete. Chladni[1] fand nach seinen Versuchen die Leitungsfähigkeit durch gläserne Röhren und demnächst durch Stäbe von Tannenholz am stärksten.

Baco[2] hielt noch die Fortpflanzung des Schalles durch feste Körper für so unmöglich, dafs er annahm, es befinde sich ein eigener Aether in denselben, der diese Wirkung hervorbringe, Cartesius[3] dagegen setzte die Ursache in den stärkern Zusammenhang der Theile. Dr. Hooke[4] machte die ersten Versuche mit einem sehr langen gespannten Drahte und fand die Leitung des Schalles durch denselben weit schneller als durch die Luft. Von Arnim[5] glaubt, die Stärke der Schallfortpflanzung durch feste Körper sey ihrer Cohärenz proportional, wofür er die Bestätigung in Perolle's Versuchen findet. Dagegen meint Chladni[6], die Rigidität komme hierbei weit mehr in Betrachtung, als die Tenacität, indem er unter der ersteren die Kraft versteht, womit ein Körper der Gestaltveränderung Widerstand leistet, unter letzterer diejenige, die eine Trennung der Theile hindert. Glas sey diesemnach ein vorzüglicher Leiter des Schalles, wobei jedoch auch die Gestalt sehr in Betrachtung komme, indem ein langer Stab einen entschiedenen Vorzug vor einer dicken Masse habe.

94) Die Geschwindigkeit des Schalles in festen Körpern suchte Wünsch[7] aufzufinden, indem er tannene Latten, 36 Stück jede von 24 Fufs, als ein horizontales, rechtwinkliges Dreieck vermittelst Zapfen zusammenfügte, am einen Ende das Ohr hielt, am andern mit einem Hammer anschlagen liefs

---

1 Akustik. S. 267.
2 Sylva sylvarum. Phon. §. 2. 3.
3 Epist. T. II. ep. 72.
4 Micrographia restaur. Lond. 1665. Praef.
5 G. IV. 112.
6 Akustik. S. 268.
7 Deutsche Abhandl. der Kön. Acad. d. Wissensch. von 1788 u. 89. Berlin. 1793.

und dann den Schall durch diese Leiter ohne Zeitverlust, durch die Luft in der Richtung der Hypotenuse aber nach einer halben Secunde hörte, woraus er schliefst, der Schall bewege sich durch feste Körper instantan; was jedoch gegen die Grundprincipien der Mechanik streitet. Hassenfratz[1], mit Zuziehung des damals noch sehr jungen Gay-Lussac, liefs in den Steinbrüchen bei Paris einen Gehülfen mit einem Hammer gegen eine Steinmasse schlagen, die eine lange Wand bildete; auch benutzte er eine hölzerne 210 Fufs lange Barrière zu gleichem Zwecke, gelangte aber zu keiner eigentlichen Bestimmung der Geschwindigkeit, sondern blofs zu dem Resultate, dafs sie in festen Körpern gröfser sey, als in der Luft, und dafs die Höhe und Tiefe der Töne keinen Unterschied bewirke, wohl aber die Beschaffenheit derselben. Bei weitem die bedeutendsten Versuche sind die von Biot bereits §. 83. erwähnten, zugleich mit der Untersuchung der Fortpflanzung des Schalles durch die in Röhren eingeschlossene Luft verbundenen. Sie wurden so angestellt, dafs zwei Beobachter sich an die äufsersten Enden der 951,25 Meter (2928,33 Fufs) langen Röhrenstrecke stellten und zu verabredeten Zeiten mit einem Hammer dagegen schlugen, wonach also jeder von ihnen die Zeit messen konnte, die der Schall zum Durchlaufen dieser Strecke bedurfte, und aufserdem wurden durch dieses Mittel die Fehler im Gange der Uhren von selbst aufgehoben. Der eine Beobachter Martin schlug nämlich gegen das Röhrenende, wenn sein Chronometer $0''$ und $30''$ zeigte, Biot dagegen bei $15''$ und $45''$, und diese Zeit läfst sich mit etwas Uebung leicht genau einhalten. Die Unrichtigkeiten und selbst der ungleiche Gang beider Uhren fällt dann von selbst weg, wenn er weniger als 30 Secunden beträgt. Es gehe die eine Uhr um r Secunden vor und p sey die Zeit der Schallfortpflanzung, so wird der bei 0 Secunden gethane Schlag bei $p - r$ Secunden gehört; schlägt dieser zweite Beobachter bei 30 Secunden, so zeigt die Uhr des ersten $30 + r$ Secunden und er hört den Schall bei $30 + r + p$ Secunden. Beide Beobachtungen geben also die Zeit $p - r$ und $p + r$, wodurch der Fehler aufgehoben wird. Zwei Reihen von zusammen 19 Beobachtungen

---

1 Mém. de l'Inst. Sav. Etrang. T. II. p. 109. Ann. Chim. T. LIII. p. 64. G. XXI. 437.

Digitized by Google

gaben 2 p = 0,52 Secunden, also p = 0,26 Secunden, und da die Fortpflanzung durch die Luft in den Röhren 2,5 Secunden mehr betrug, also im Ganzen 2,76 Secunden, nach der Theorie aber 2,79 Secunden betragen mufste, so verdienen die Versuche hiernach Vertrauen und geben die Schallgeschwindigkeit durch die gufseisernen Röhren 10,5 mal so schnell, als durch die Luft. Benzenberg[1] bemerkt jedoch mit Recht, dafs diese Zeit überhaupt zu kurz war, um nicht eine bedeutend grofse Fehlergrenze zu gestatten, und daher stimmen auch die Gröfsen, die mit Theilen dieser Strecke und mit der ganzen erhalten wurden, keineswegs so genau überein, dafs man dem Resultate vollkommenes Zutrauen schenken könnte. Es ergiebt sich also hieraus, dafs diese Entfernung noch zu kurz war, um die Schallfortpflanzung, selbst mit Anwendung von Tertienuhren, genau zu messen.

Clement und Desormes[2] mafsen beiläufig bei Gelegenheit ihrer pneumatischen Versuche die Schallgeschwindigkeit in gufseisernen Röhren und fanden sie eine Secunde für 593 Meter, also ungleich geringer als Biot, was wohl unmöglich richtig seyn kann und von ihnen daraus erklärt wird, dafs sich zwischen den einzelnen zusammengeschraubten Röhren Lederscheiben befanden. Die ganze Angabe ist ohne Werth, da nach ihr die Schallgeschwindigkeit in solchen Röhren geringer wäre als im Wasser. Es ergiebt sich aus allen bisherigen Versuchen hauptsächlich nur die stärkere Fortpflanzungsgeschwindigkeit in festen Körpern und zugleich die grofse Schwierigkeit, diese durch Versuche genau auszumitteln.

95) Bei der theoretischen Untersuchung der Schallfortpflanzung durch feste Körper kommt zuerst die Frage in Betrachtung, ob diese durch transversale oder longitudinale Schwingungen geschieht. Mit Gewifsheit läfst sich zwar hierüber nicht entscheiden, da die mitgetheilten Wellen zu schwach sind, als dafs man sie durch Figuren sichtbar darstellen und hiernach die aufgestellte Frage beantworten könnte, allein nach überwiegenden Wahrscheinlichkeitsgründen mufs man sie für longitudinale Schwingungen halten. Dieses vorausgesetzt

---

1 G. XXXVII. 221.

2 Bulletin de la Soc. Philom. 1811. G. XXXIX. 142.

Digitized by Google

hat Chladni[1] ein durch innere Wahrscheinlichkeit sich sehr empfehlendes Theorem aufgestellt, um die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles durch die verschiedenen festen Körper zu bestimmen, welches die Gebrüder Weber[2] bei ihren Versuchen an gespannten Seilen so genau mit der Erfahrung übereinstimmend gefunden haben, als innerhalb der Fehlergrenze möglich war. Indem nämlich der Schall in der nämlichen Zeit eine Strecke von Luft durchläuft, in welcher eine gleich lange Säule eine Longitudinalschwingung macht, so läfst sich annehmen, dafs bei festen Körpern dieses nämliche Gesetz statt findet. Wenn also eine an beiden Seiten offene Pfeife von n Fufs Länge den nämlichen Ton giebt, als ein Stab von m Fufs Länge, so werden sich die Geschwindigkeiten beider verhalten wie n zu m, oder wenn die Längen der Luftsäule und des tönenden Stabes gleich sind, so werden die Geschwindigkeiten den Tonhöhen proportional seyn. Hiernach hat er aufgefunden, dafs Zinn 7,5, Silber 9, Kupfer beinahe 12, Eisen und Glas 17, die verschiedenen Hölzer zwischen 11 bis 17, gebrannter Thon 10 bis 12 mal so geschwind leiten, als die Luft[3]. Dafs diese Bestimmung für das Eisen mit dem Resultate der Versuche Biot's nicht übereinstimmt, erklärt Chladni[4] aus dem Umstande, dafs die ganze Strecke bei jenen Versuchen aus einzelnen verbundenen Röhren mit zwischenliegenden heterogenen Metallstücken und sonstigen Substanzen bestand.

Dafs nach der oben §. 89. angegebenen Formel die Schallgeschwindigkeit in festen Körpern gleichfalls und vermuthlich mit grofser Genauigkeit gefunden werde, unterliegt wohl keinem Zweifel. La Place hat dieselbe in ihrer einfachsten Gestalt dazu angewandt, und da de Borda gefunden hat, dafs Messing (*cuivre jaune*) von einem Meter Länge durch ein dem seinigen gleiches Gewicht um 0,00000077379 Meter zusammengedrückt werde, so giebt dieses = m in der Formel $V = \sqrt{\frac{2g}{m}}$ substituirt und für $2g = 9^m,8088$ gesetzt die Schallgeschwindigkeit in dieser Substanz = 3560,4 Meter,

1 Voigt's Magazin Th. I St. 1. S. 7. Akustik S. 265.

2 S. Wellenlehre S. 467.

3 Ausführlicher ist dieser Gegenstand bereits oben §. 18. untersucht worden.

4 Neue Beiträge u. s. w. S. 85.

Digitized by Google

welches von dem durch Chladni nach seiner Methode gefundenen Werthe = 3596,58 Meter nicht bedeutend abweicht, weswegen La Place den Unterschied als Folge der durch Compression freigewordenen Wärme betrachtet; indefs ist der Unterschied so gering, dafs er füglich als Beobachtungsfehler betrachtet werden kann, um so mehr, als ein aus der Correction für ausgeschiedene Wärme entnommener Factor ein viel zu grofses Resultat geben würde. Ungleich genauere Resultate würde man erhalten, wenn man sich zur Berechnung der theoretischen Schallgeschwindigkeit der Formel von Poisson §. 89. bediente, jedoch dürfte nicht leicht die Gelegenheit dargeboten werden, diese mit dem Ergebnifs der Erfahrung zu vergleichen.

Unter den Anwendungen, die man von der Fortpflanzung des Schalles durch feste Körper gemacht hat, erwähne ich eine Spielerei von Wheatstone[1], die unter geeigneten Umständen interessant werden kann. Wenn man einen im Resonanzboden eines Forte-Piano oder eines sonstigen musikalischen Instrumentes befestigten Metallstab bis zum zweiten oder dritten Stockwerke hinaufführt und dort mit einem andern musikalischen Instrumente fest verbindet, oder wenn man ihn auf gleiche Weise herabführt und eine Harfe, Guitarre u. s. w. daran hängt, so hört man an letzterem Instrumente die Töne, die auf dem ersten hervorgebracht worden sind. Es läfst sich durch dieses Mittel auch den Schwerhörigen eine Unterstützung verschaffen, wenn man in ein hohles Gefäfs, hauptsächlich einen kupfernen Kessel, redet und einen auf dem Rande desselben ruhenden Stab zum Ohre oder zwischen die Zähne führt; auch wird das Hören ungemein verstärkt, wenn man mit dem einen Ende eines Stabes den Resonanzboden eines Instrumentes berührt, dessen anderes man zwischen den Zähnen fafst. Inzwischen scheinen diese Anwendungen seltener zu seyn, als sich nach älteren Nachrichten schliefsen läfst, die in den §. 92. erwähnten Schriften mitgetheilt werden.

Bei weitem die bedeutendste Anwendung der Fortpflanzung des Schalles durch feste Körper gewährt das durch Laennec vorgeschlagene *Stethoskop*[2]. Dasselbe besteht aus

1 The Journal of the Royal Institut. N. V. p. 223. Wiener Zeitschr. X. 469.

2 De l'Auscultation médiate cet. Par. R. T. Laennec. Par. 1819.

einem ungefähr 1 Fuſs langen und 1,25 Zoll dicken Cylinder von hartem Holze, am einen Ende flach, am andern meistens etwas ausgehöhlt[1], einige haben am oberen Ende noch eine in den Cylinder versenkte messingne Röhre von 3 bis 4 Zoll Länge und etwa 5 Linien Weite, die ausgezogen, nach oben gerichtet und mit dem Ohre in Verbindung gesetzt wird[2]. Die Wirksamkeit dieses Apparates beruht bloſs auf der angegebenen so ausgezeichnet viel stärkeren Fortpflanzung des Schalles durch feste Körper, und es dient daher zu dem Zwecke, um mit dem einen Ende äuſserlich auf den kranken Theil des Körpers gehalten am andern dem Ohre des Arztes die Anwesenheit innerer Höhlungen kenntlich zu machen, in denen der Schall nach der bereits erwähnten Wirkung solcher Räume eine eigenthümliche Beschaffenheit erhält. Wegen der in das Gebiet der praktischen Arzneikunde gehörigen Anwendung desselben verweise ich auf die wichtigsten der zahlreichen hierüber erschienenen Werke[3]. Aehnlich in seiner Wirkung, zu gleichen Zwecken anwendbar, jedoch künstlicher und minder bequem und daher nicht gleich sicher in den erhaltenen Resultaten, ist das Mikrophon, ein durch Wheatstone[4] vorgeschlagenes Instrument, welches verschwindend schwache Töne hörbar machen soll. Es besteht aus einem für das Ohr passenden und gegen die harten Theile des Kopfes gestemmten Becken von Messing, auf dessen Mitte ein langer

---

2. Voll. 8. T. I. p. 8. Vergl. J. L. Casper Charakteristik der franz. Medicin. Leipz. 1822. p. 230.

1 Es würde nicht bloſs genügen, sondern noch zweckmäſsiger seyn, beide Enden zur Vermeidung der scharfen Kanten etwas abzurunden.

2 Nachricht von einem biegsamen Stethoskope findet man in Froriep's Notizen Bd. XXVI. S. 206.

3 An Introduction to the Use of Stethoscope cet. By W. Stocker. Edinb. 1825. 8. Observations on M. Laennec's Method of forming a Diagnosis of the diseases of the Chest by means of the Stethoscope and of Percussion cet. By Ch. Scudamore. Lond. 1826. De la Percussion médiate cet. par P. A. Piorry. Par. 1828. 8. Original Cases with dissections and observations illustrating the Use of the Stethoscope and Percussion cet. By John Forbes. Lond. 1824. 8. Dissertatio inauguralis medica de Stethoscopii in morbis pectoris usu. Auct. H. C. Vanhall. Utr. 1823. und viele andere.

4 Berzelius Jahresbericht VIII. p. 9.

Metallstab befestigt ist, um durch diesen die Töne dem Ohre zuzuführen. Hat man solche an beiden Ohren, so lassen sich die zwei Drähte in einen vereinigen.

96) Als Anhang zu den bisherigen Untersuchungen über die Fortpflanzung des Schalles im Allgemeinen mufs noch die Bemerkung hinzugefügt werden, dafs die fortleitenden Schallwellen wohl ohne Ausnahme eine bedeutende Schwächung erleiden, sobald sie aus einem gewissen gegebenen Mittel in ein anderes übergehn, wobei jedoch derjenige Körper gleichfalls und wohl vorzugsweise zu berücksichtigen ist, welcher unmittelbar mit dem Ohre in Verbindung steht. Viele Erscheinungen ergeben sich als Folge dieses allgemeinen Gesetzes. So wird man das Ticken einer Taschenuhr bis zu einer Entfernung von etwa zwei Fufs leicht deutlich hören, wenn der Schall blofs durch die Luft fortgepflanzt wird, das Hören desselben verschwindet aber gänzlich, sobald man die Uhr mit mehreren Lagen eines seidenen, leinenen oder baumwollenen Tuches umwickelt, ungeachtet alle diese Substanzen den Schall stärker leiten, als die Luft. Ein Wecker verliert an Stärke des Schalles, wenn man ihn unter eine Campane stellt, noch mehr, wenn man über diese eine zweite stürzt, und noch ungleich mehr, wenn man weiche Körper dazwischen bringt, ein Mittel, dessen sich Musschenbroek[1] bediente, um den Schall ganz verschwinden zu machen. Man hört das Schlagen gegen eine Taucherglocke aus einer Tiefe von 30 F. oben sehr deutlich, aber die Taucher vernehmen nichts von einem über dem Wasser erzeugten Schalle[2], weil derselbe von der Luft ins Wasser und aus diesem wieder in die Luft übergehn mufs, was allgemein nur unvollkommen geschieht. Colladon konnte daher (§. 89.) den Schall der angeschlagenen Glocke nicht wahrnehmen, wenn er eine an beiden Enden offene Röhre ins Wasser senkte und das Ohr an das obere Ende hielt, weswegen er die beschriebene Maschine zur Wahrnehmung des Schalles benutzte. Indefs scheint mir dabei die gröfsere den Schallwellen entgegengehaltene Fläche weit weniger von Bedeutung gewesen zu seyn, als vielmehr die eingeschlossene Luftmasse in dem weiteren unteren Theile

1 Introduct. T. II. §. 2255.
2 Biblioth. univers. T. XIII. p. 230.

des Rohres, wodurch der Schall bedeutend verstärkt wird, wie die §. 83. erwähnte Construction der unsichtbaren Frau deutlich zeigt. Dafs jedoch auch derjenige Körper von Einfluſs sey, welcher mit dem Ohre in unmittelbarer Berührung ist, davon kann man sich überzeugen, wenn man das Ohr unter Wasser taucht und dann den Schall aus der Umgebung weit deutlicher wahrnimmt, als durch die Luft.

Endlich verdient noch eine Eigenthümlichkeit hier erwähnt und in theoretischer Hinsicht sehr beachtet zu werden, nämlich dafs die verschiedensten Schallwellen in allen Arten von Körpern neben einander gehn können, ohne sich wechselseitig zu stören, ein Gesetz, welches wir auch bei den Lichtwellen aus den Beobachtungen entnehmen, ja selbst auch die elektrischen sogenannten Strömungen durchkreuzen einander ohne gegenseitige Zerstörung, wonach man diese Bewegungen gleichfalls für wellenartig halten könnte. Nicht blofs durch die Luft verbreiten sich die vielfachsten, den verschiedensten Tönen zugehörigen Schallwellen, wovon die zahlreichsten Erscheinungen den überzeugendsten Beweis geben, sondern auch feste Körper führen dem Ohre gleichzeitig eine unbestimmbare Menge ungleicher Töne zu.

III. Wahrnehmung des Schalles.

97) Die hierher gehörigen Thatsachen sind im Artikel *Gehör* bereits für den vorliegenden Zweck genügend erörtert worden. Inzwischen mufste dort die Darstellung der Functionen des Ohres insofern mangelhaft bleiben, als diese blofs durch die Kenntnifs der Schallwellen die erforderliche Klarheit erhalten. Aus den bisherigen Untersuchungen ergiebt sich aber, dafs die Thätigkeit der Gehörnerven auf den Eindrücken beruht, welche die bis zum Ohre fortgepflanzten, durch das Paukenfell und die Gehörknöchelchen geleiteten Schallwellen in ihnen erzeugen. Diese wellenartigen Pulsus schlagen oder stofsen also auf ähnliche Weise gegen die Nerven des Ohrs unmittelbar oder, wenn man lieber will, mittelbar durch das sie umgebende Wasser. Die unter den Physiologen streitige Frage, ob der Schall gewöhnlich durch die Gehörknöchelchen oder durch die Luft der Trommelhöhle fortgepflanzt werde,

Digitized by Google

beantwortet Savart[1] auf gleiche Weise, als durch mich geschehn ist. Nachdem er wahrgenommen hatte, dafs gespannte Membranen durch die Schallwellen eines genäherten schallenden Körpers in Schwingung versetzt werden (§. 43), legte er das Paukenfell blofs, liefs es so weit austrocknen, dafs er es mit Sand bestreuen konnte, und erkannte dann aus der hüpfenden Bewegung des letzteren, dafs diese Membrane durch den Schall gleichfalls in Schwingungen versetzt wird[2], die sie dann den mit ihr verbundenen Knöchelchen mittheilt und auf diese Weise bis zu den Gehörnerven fortpflanzt. Wurde das Paukenfell durch die Muskeln stärker gespannt, so waren seine Bewegungen schwieriger, und hierin scheint also ein Mittel gegeben zu seyn, das Ohr für einen stärkern Schall vorzubereiten, um weniger dadurch afficirt zu werden. Auch die Ohrmuschel soll nach Savart in Schwingungen versetzt werden und dadurch den Schall verstärken, was auf jeden Fall durch die in ihren hohlen Räumen eingeschlossene Luft bewirkt wird, aufserdem aber bietet sie den ankommenden Schallwellen, wie deren Richtung auch seyn mag, stets eine geeignete Fläche dar, die dieselben gegen das Paukenfell wirft, um die Intensität des Schalles von der Neigung der gegen das Ohr ankommenden Wellen unabhängig zu machen. Hiernach ist also der Hammer bestimmt, zuerst durch ungleiche Spannung des Trommelfelles dieses gegen zu starke Wirkungen der Schallwellen zu sichern, und demnächst die dem Paukenfelle mitgetheilten Vibrationen bis zum ovalen Fenster fortzuleiten. Diese Ansicht ist sinnreich und hat einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit, insofern viele zu empfinden glauben, dafs das Ohr willkürlich auf einen schwachen und starken Schall vorbereitet werden kann, für ganz gewifs läfst sich jedoch die Sache nicht ansehn, da man nicht mit Sicherheit von dem stärkeren Hüpfen des Sandes auf eine gröfsere Intensität der Bebungen schliefsen kann, indem blofs eine weitere Ausdehnung (ich möchte es *amplitudo* nennen) der Bebungen das stärkere Hüpfen des Sandes bedingen könnte. Ein Trommelmelfell z. B. hat stärkere Ausweichungen beim Tönen, als das Gong-Gong, aber die Intensität der Schallwellen ist bei

---

1 Ann. Chim. Phys. T. XXVI. p. 5. ff.
2 Vgl. Saggio di Padova T. I. p. 419.

letzterem gewifs gröfser als bei ersterem. Im Ganzen hat aber die Ansicht Savart's einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit für sich. Aufser der so eben angegebenen Function dient das *Trommelfell* nach Savart, übereinstimmend mit der von mir bereits mitgetheilten Ansicht, dazu, das innere Ohr gegen Einflüsse von aufsen zu sichern, die Paukenhöhle aber hat die Bestimmung, in Verbindung mit der *Eustachischen Röhre* einen Behälter von Luft abzugeben, die bei unveränderter Temperatur und Dichtigkeit eine stets gleichmäfsige Thätigkeit der einzelnen Theile des Gehör-Organs bedingt.

98) Aus der vorgetragenen Theorie des Schalles ist endlich gleichfalls klar, dafs die Fähigkeit des Ohres, die Eigenthümlichkeiten der Töne oder dasjenige, was man ihren Klang nennt (§. 40.), zu unterscheiden, auf dem Eindrucke beruht, welchen die den Ton erzeugenden Hauptschwingungen und die ihn begleitenden Nebenschwingungen der mit dem tönenden Körper verbundenen Theile auf das Gehörorgan hervorbringen. Dafs die Unterscheidung der Töne nach ihrer Höhe auf der Menge der Schwingungen beruhe, wufste man schon lange, allein die Grenze des Gehörs, über welche hinaus der Unterschied der Schwingungsmengen nicht weiter wahrnehmbar sey, hatte man bisher noch nicht genügend ausgemittelt[1]. Insofern es solche Grenzen geben mufs, folgt schon von selbst, dafs die durch die mittleren Schwingungsmengen erzeugten Töne am leichtesten unterschieden werden, was auch mit der Erfahrung im Allgemeinen übereinstimmt und sich auch dabei zeigt, dafs die Künstler allezeit die mittleren Octaven eines Forte-Piano zuerst und dann mit gröfserer Mühe die tiefern und höhern nach diesen vermittelst der Octaven stimmen. Chladni nimmt an, dafs das tiefste C der Orgel-Pedale ($\underline{\underline{C}}$), welchem 32 Vibrationen in einer Secunde zugehören, der tiefste wahrnehmbare Ton sey und dafs in der Regel ein gesundes und geübtes Ohr alle zwischenliegende Intervalle bis zum sechsgestrichenen c $\left(\overline{\overline{\overline{c}}}\right)$ unterscheiden könne. So wunderbar und wahrhaft unglaublich hiernach die Fähigkeit des Gehörorgans erscheinen mufs, die auf einem Unterschiede der Vibrationsmengen von 32 bis 16384 beruhenden verschie-

1 Vergl. *Gehör* Bd. IV. S. 1218.

Digitized by Google

denen Töne zu unterscheiden, so ist doch neuerdings durch Savart[1] erwiesen worden, dafs der Umfang des Gehörs noch weiter reicht, als bis zu den genannten 16384 Doppelschwingungen, die Chladni[2] nicht mit Sicherheit anzunehmen sich getraute. Zuerst fand er, dafs die Longitudinaltöne eines Glascylinders von 159 Millim. Länge und 3 Millim. Durchmesser noch von den meisten Personen gehört wurden, obgleich sie zu etwa 31000 einfachen Schwingungen gehören. Dünnere Stäbe von 150 Millim. Länge, deren einfache Vibrationen 33000 betragen mögen, gaben nicht allezeit einen hörbaren Ton, entweder weil das Ohr ihn nicht zu vernehmen vermochte, oder seine Erzeugung zu schwierig war. Da die transversalen Schwingungen eines Stabes und die longitudinalen einer Luftsäule bei einer so grofsen Zahl nicht füglich genau mefsbar sind, so verfertigte Savart ein Rad mit Zähnen, die bei gleichmäfsiger Umdrehung gegen ein kleines Scheibchen von Holz schlugen und dadurch nach Art der Sirene einen Ton gaben. Hierbei gilt jeder Stofs eines Zahnes mit dem Zwischenraume für eine doppelte Schwingung, und er fand, dafs das Ohr einen Ton von drei bis vier Tausend solcher Vibrationen leicht und deutlich wahrnahm; über diese Zahl hinaus wurde der Ton aber undeutlich. Ein gröfseres Rad jedoch mit nicht mehrern Zähnen, als das erste, was deren nur 400 hatte, aber von 48 Centim. Durchmesser, gab noch bei 10000 Pulsus einen sehr vernehmlichen Ton, jedoch wurde dieser undeutlich bei 12000 bis 15000 Doppelschwingungen. Ein neues Rad von 82 Centim. Durchmesser und 720 Zähnen gab einen vernehmlichen Ton bei 24000 Doppelschwingungen, der zwar undeutlicher war, als bei 15000, aber dennoch sicher hörbar. Savart meint, hierdurch sey die von Wollaston angegebene Grenze der wahrnehmbaren Töne schon überschritten, da nicht blofs er selbst, sondern auch andere diese Töne gehört hätten; allein Wollaston hat diese Grenze gar nicht genau angegeben[3], um sie mit der hier bestimmten zu vergleichen. Ver-

---

1 Ann. Ch. et Phys. XLIV. p. 337. Poggendorff's Ann. XX. 290.

2 In seiner Akustik S. 34. sagt er, dafs ein Ton von 16384 Vibrationen kaum deutlich hervorgebracht oder vernommen werden könne.

3 Vergl. Bd. IV. S. 1218.

Digitized by Google

muthlich liegt die Grenze der wahrnehmbaren Töne noch weiter, als sie durch die genannten Versuche factisch nachgewiesen ist, aber die Apparate hierzu würden kostbar und schwierig zu handhaben seyn. Um dem Einwurfe zu begegnen, dafs das dünne Blättchen vielleicht einige Zähne überspringe, dürfte es vorzuziehn seyn, bei noch weiter gehender Vermehrung der Schwingung eine vergröfserte Sirene in Anwendung zu bringen.

Eine hiermit verwandte Frage war, wie viele solche Doppelschwingungen erfordert werden, um einen vernehmlichen Ton zu erzeugen. Um hierüber zu entscheiden, verfertigte Savart ein Rad, dessen Zähne ganz oder beliebig viele weggenommen werden konnten, und er fand, dafs bei unveränderter Geschwindigkeit der nämliche Ton auch dann noch gehört wurde, wenn nur zwei Zähne vorhanden waren, wonach also zwei Doppelschwingungen in der erforderlichen Zeit zur Erzeugung des erforderlichen Tones genügen. Da 10000 Doppelschwingungen noch sehr gut vernehmlich und unterscheidbar waren, so folgt hieraus, dafs das Ohr ein Zeitintervall von $\frac{1}{10000}$ einer Secunde zu unterscheiden vermöge; die höhern Töne waren zwar hörbar, konnten aber nicht mehr verglichen werden. Um zu versuchen, wie lange der Eindruck eines Tones daure, unterbrach Savart die Töne dadurch, dafs er einige Zähne aus dem Rade herausnahm, und fand dadurch, dafs allerdings eine Dauer des Eindruckes der Töne vorhanden ist, allein die Gröfse derselben konnte er nicht mit Sicherheit auffinden.

Savart[1] untersuchte bald darauf auch die Frage, welcher tiefste Ton für das Ohr noch wahrnehmbar sey, oder über die Grenze des Gehörs bei abnehmender Menge von Schwingungen. Hierzu bediente er sich eines eisernen Stabes von 2,5 Fufs Länge, 2 Zoll Breite und 6 Lin. Dicke, welcher vermittelst einer auf seine Mitte lothrechten, durch ein Rad bewegten, Axe in einer verticalen Ebene so umgedreht wurde, dafs seine Enden zwischen zwei dünnen, auf dem Gestelle befestigten Bretchen durchgingen, die ihm bis auf 1 Millim. Abstand genähert werden konnten. Hiernach wurde der durch die Enden des Stabes erzeugte Luftstrom bei jedem Durchgange durch die Bretchen unterbrochen oder er stiefs vielmehr gegen dieselben

1 Ann. Chim. Phys. T. XLVII. p. 69. Poggendorff Ann. XXII.

so, dafs es schien, als würden die letztern selbst durch die Enden des Stabes getroffen. Bei langsamer Bewegung hörte man blofs diese einzelnen Pulsus, bei schnellerer entstand jedoch ein Ton, aber ein schnarrender, weil man die einzelnen Pulsus mit ihm zugleich hörte. Wurden die Umdrehungen schneller, obwohl der Apparat nicht mehr als etwa 30 Pulsus in einer Secunde gestattete, so nahm die Reinheit des Tones mit dem Aufhören des Schnarrens zu, stets war er aber so stark klingend, dafs er eine Orgel, einen Bafs und sonstige Instrumente im Zimmer stark übertönte. Als Hauptresultat ging hervor, dafs bei 7 bis 8 Schlägen noch ein Ton gehört wurde, welcher also 14 bis 16 einfachen Vibrationen zugehört, und Savart glaubt daher, dafs die Grenze der tiefen und hohen Töne unbestimmbar sey, oder dafs es gar keine zu geben scheine, wenn nur die Eindrücke der Pulsus bei den tiefen lange genug dauern und die Dauer derselben bei den hohen zunehmend vermindert wird[1].

M.

---

1 Die Literatur der Akustik, insbesondere wenn man die Schriften über Musik hinzunimmt, ist ausnehmend weitläuftig und kann hier auf keine Weise ausführlich mitgetheilt werden. Aufser den gelegentlich als Autoritäten bei den einzelnen Untersuchungen genannten Werken erwähne ich noch: Ueber die Musik der Alten viele Abhandlungen in Mém. de l'Acad. des Inscr. T. VIII. p. 27. T. X. p. 111. T. XV. p. 293. T. XVII. p. 31. Roussier sur la musique des Anciens. Par. 1774. Barthelemi Entretiens sur l'état de la musique grécque. Amst. 1777. Burney's Abhandlung über die Musik d. Alten. Uebers. von Eschenburg. Leipz. 1780. Forkel allg. Gesch. d. Musik. Leipz. 1788. T. I. Musicae antiquae Scriptores ed. Meibomii. Amst. 1652. 4. Werke über neuere Musik sind unter andern: Zarlino Institutioni armoniche. Ven. 1558. Mersenni Harmonica. Par. 1635. fol. und Mersenni Harmonie universelle. Par. 1636. Cartesii musicae compendium. Utr. 1650. C. Schottii mechanica hydraulico-pneumatica. Würz. 1657. 4. Kircheri musurgia. Romae 1650. 2 T. fol. Kircheri Phonurgia. Rom. 1673. fol. Menzoli musica speculativa. Bologna 1670. 4. Salmon on musics. Lond. 1672. 8. Malcolm on music. Edinb. 1721. 8. Rameau Traité de l'Harmonie. Par. 1722. 4. Rameau Système de musique. Par. 1726. 4. L. Euler tentamen novae theoriae musicae. Petrop. 1729. 4. Dalembert Elements de musique. Par. 1752. 8. Tartini della vera Scienza dell' armonia. Pad. 1754. 4. Marpurg Anfangsgründe der theoretischen Musik. Leipz. 1757. 4. Marpurg Versuch über die Temperatur. Bresl. 1776. 8. Jamard sur la théorie de la musique. Par. 1768. 8. Kirnberger Kunst des reinen

Schatten.

Umbra; Ombre; *Shadow.*

Schatten nennt man allgemein eine theilweise Beraubung des Lichts, in optischer Beziehung, wenn das wirklich vorhandene Licht durch undurchsichtige Körper zurückgehalten wird, bei zeichnender Darstellung aber, wenn durch weniger helle Farben ein solcher Mangel oder nur eine Verminderung des Lichts künstlich nachgebildet wird. Hier kann nur von dem ersteren die Rede seyn, jedoch mufs auch die darstellende Kunst die aus der Optik entnommenen Regeln über die Gestalt und Stärke der Schatten in Anwendung bringen.

Allezeit entsteht also ein Schatten dann, wenn sich ein dunkler Körper zwischen dem leuchtenden und dem erleuchteten befindet, indem jener Zwischenkörper die geradlinig fortgehenden Lichtstrahlen auffängt und blofs die an seinen Grenzen hinstreifenden auf den erleuchteten fallen läfst. Insofern aber das Sehen der Gegenstände blofs durch das von ihnen reflectirte oder ursprünglich ausgehende Licht möglich wird, kann der Schatten nicht selbst gesehn werden, wohl aber die Begrenzung des Lichts, oder vielmehr die durch diese Begrenzung eingeschlossene Fläche, die alsdann diesen Namen erhält. Diese Grenzen müssen aber um soviel leichter wahrnehmbar seyn und der Unterschied zwischen dem Eindrucke, welchen diese und die weniger oder gar nicht beleuchteten Stellen erzeugen, mufs um soviel mehr auffallen, je gröfser die Stärke des Lichts ist; es zeigt sich daher der Schatten im geraden Verhältnisse des ihn erzeugenden Lichts dunkler und wahrnehmbarer. Wird der nämliche Körper von mehreren Lichtquellen gleichzeitig beleuchtet, so mufs der zwischen ihnen befindliche undurchsichtige Körper von jedem leuchtenden einen Theil des Lichts auffangen. Liegen hierbei die leuchtenden Körper mit dem undurchsichtigen nicht in einer geraden Linie, so entstehn mehrere Schatten, und zwar so viele, als leuchtende Körper vorhanden sind. Die erzeugten Schatten

---

Gatzes. Berl. 1771. 4. Sulzer's Theorie der schönen Künste. Leipzig 1772. 4 Bde. 8. Das vollständigste und belehrendste Werk über die Harmonie und Tonsetzkunst ist: Gottfried Weber's Versuch einer geordneten Theorie der Tonsetzkunst. 3te Aufl. Mainz 1830 — 32. 4 Bde. 8.

Digitized by Google

können dann jeder einzeln bestehen, oder sich theilweise einander decken, wobei die der einen Lichtquelle zugehörigen Schatten durch eine oder mehrere andere erhellt werden. Mit Rücksicht auf die Lichtstärke der erleuchtenden Körper sind dann die Schatten mehr oder weniger dunkel, und man nennt die gänzliche Entziehung des Lichts Kernschatten, die theilweise aber Halbschatten (*Penumbra;* Pénombre; *Penumbra*). Ein gleicher Erfolg mufs statt finden, wenn der lichtgebende Körper eine gewisse Gröfse hat, indem dann die einzelnen Puncte desselben als ebensoviele Lichtquellen zu betrachten sind, wobei die Ausdehnung der durch allmälige Abstufungen in einander übergehenden ganzen und Halbschatten von der Gröfse des leuchtenden sowohl als auch des dunkeln Körpers und von ihrem gegenseitigen Abstande nebst der Entfernung der beschatteten Fläche abhängt. Da sich alles dieses ohne Schwierigkeit übersehn läfst, so wird es genügen, die Entstehung des Halbschattens nur durch eine Zeichnung anschaulich zu machen. Zieht man von den äufsersten Grenzen des leuchtenden Körpers A die den dunkeln Körper C berührenden Linien $a\alpha'$ und $a\beta$, dann ebenso $b\alpha$ und $b\beta'$, so bezeichnen $\alpha\beta$ und $\alpha'\beta'$ die im Halbschatten, $\beta\beta'$ aber die im Kernschatten befindliche Fläche, wobei der allmälige Uebergang zum Halbschatten durch theilweise Entziehung des Lichts und von diesem zum Kernschatten von selbst anschaulich wird. Fig. 170.

Ist blofs ein einzelner leuchtender Punct vorhanden, so fallen die von diesem ausgehenden, die Grenze des undurchsichtigen Körpers berührenden Lichtstrahlen auf die beschattete Ebene und erzeugen eine dem undurchsichtigen Körper vollkommen gleiche Figur, vorausgesetzt, dafs eine den leuchtenden und den undurchsichtigen Körper verbindende, bis zur auffangenden Fläche verlängerte Linie auf letzterer lothrecht steht. Man bedient sich dieses Mittels, um durch Bezeichnung der Grenzen des Schattens genaue Figuren des dunkeln Körpers zu erhalten, insbesondere der Profile menschlicher Gesichter (die sogenannten *Schattenrisse*), wobei jedoch zu bemerken ist, dafs die Durchmesser des Körpers und seines Schattens sich verhalten wie $n : n + m$, wenn n den Abstand des leuchtenden Punctes vom undurchsichtigen Körper, m aber den Abstand des letzteren von der beschatteten Fläche be-

Digitized by Google

zeichnet. Dafs hierbei mehrere Lichtquellen unzulässig sind, versteht sich von selbst, auch erwächst eine Veränderung aus der Gröfse des lichtgebenden Körpers, wenn man diesen nicht als einen blofsen Punct betrachten darf. In der Ausübung bedient man sich einer beträchtlich entfernten Kerzenflamme (deren längliche Gestalt jedoch einige Undeutlichkeit erzeugt) und bringt den abzuzeichnenden Körper möglichst nahe an die beschattete Fläche.

Die Gröfse und Gestalt des Schattens werden durch die Gröfse und Gestalt des leuchtenden und des undurchsichtigen Körpers, desgleichen durch die Entfernung und Neigung der auffangenden Fläche bedingt. Alle diese verschiedenen Modificationen einzeln anzugeben würde zu weitläuftig seyn und ist um so weniger nöthig, als jeder vorkommende Fall leicht deutlich wird. Ist der leuchtende Körper kleiner als der dunkle, so wächst der Durchmesser des Schattens zunehmend mit der Entfernung, die ohne auffangende Fläche hiernach unendlich werden kann; der gesammte im Schatten befindliche Raum bildet dann eine abgekürzte Pyramide oder einen abgekürzten Kegel, deren untere Basis sich stets weiter bis ins Unendliche entfernt. Findet das umgekehrte Verhältnifs jener beiden Körper statt, so bildet der Schattenraum ohne auffangende Fläche ein endliches Prisma oder einen endlichen Kegel, aus dessen Gröfse sich die Entfernungen und Gestalten des leuchtenden und dunkeln Körpers finden lassen. Dafs auch hierbei eine unübersehbare Menge von Fällen statt finde, ergiebt sich auf den ersten Blick, und ich begnüge mich daher, nur dasjenige zu erwähnen, was in einiger Beziehung zur Astronomie steht und wovon sich leicht Anwendungen auf das Uebrige machen lassen. Sind beide Körper rund, heifst

Fig. 171. der Halbmesser des leuchtenden $SA = R$, des dunkeln $CE = r$, die Entfernung $SC = d$ und $CH = l$, so hat man

$$R : r = d + l : l,$$

also

$$l = \frac{rd}{R - r}.$$

Ist z. B. der Erdhalbmesser $r = 1$, der Sonnenhalbmesser $R = 112$, die Entfernung der Sonne von der Erde $d = 24000$ Erdhalbmesser, so wird $l = \frac{24000}{112 - 1} = 217$ Erdhalbmesser.

Befindet sich der Mond in m, so hat man wieder

Digitized by Google

$$HC : CE = Hm : mt,$$
$$217 : 1 = 217 - 60 : mt,$$

woraus $mt = \frac{157}{217}$ oder $\frac{8}{11}$ Erdhalbmesser gefunden wird, und da der Mondhalbmesser nur $\frac{3}{11}$ Erdhalbmesser beträgt, so ergiebt sich auch ohne scharfe Zahlenbestimmungen, dafs die Durchschnittsfläche des Schattens hier weit gröfser ist, als die des Mondes.

Ehemals bediente man sich häufig des Schattens zur Messung der Höhen, insbesondere der Erhebungen der Gestirne über den Horizont, und gebrauchte hierbei die Bezeichnungen des geraden und des umgekehrten Schattens. Bezeichnet DE Fig. 172. den Durchschnitt einer waagerechten Ebene, BA einen lothrechten dunkeln Körper, S einen leuchtenden, so fällt das Ende des Schattens in C und dieser Schatten heifst der *gerade Schatten* (*Umbra directa*; ombre droite; *Right shadow*). Ist S als ein leuchtender Punct zu betrachten, so begrenzt die Linie SBC den Schatten genau und es ist

$AC = AB$ Cotang. ACB und $AB = AC$ Tang. ACB.

Ueberhaupt können alle Theile des Dreiecks trigonometrisch gefunden werden. Ist dagegen DE der Durchschnitt einer ver- Fig. 173. ticalen Ebene und BA ein auf ihr lothrechter horizontaler dunkler Körper, so ist SBC die Grenze des Schattens, welcher dann *umgekehrter Schatten* (*Umbra inversa;* ombre verse ou renversée; *Versed shadow*) heifst, auch ist für einen leuchtenden Punct S die Länge des umgekehrten Schattens

$$AC = AB. \text{ Tang. B.}$$

Um auf die Weise, wie dieses bei den Römern geschah, die Sonnenhöhen zu finden, mufs S als Mittelpunct der Sonne betrachtet werden, und es giebt dann beim geräden Schatten der Winkel ACB, beim umgekehrten der Winkel ABC die Sonnenhöhe, wobei die Länge des dunkeln Körpers bekannt seyn mufs. Heifst nämlich die Sonnenhöhe H, so ist beim geraden Schatten $\frac{AB}{AC} =$ Tang. H und beim umgekehrten $\frac{AB}{AC} =$ Tang. H.

Die Alten mafsen auf diese Weise die Mittagshöhen der Sonne vermittelst lothrechter Obelisken oder *Gnomons*[1]. Plinius[2] erzählt als Beispiel, dafs am Tage der Nachtgleichen zu Rom

1 Vergl. *Gnomon.* Bd. IV. S. 1607.
2 H. N. L. II. p. 72.

Digitized by Google

der Schatten der Sonne $\frac{1}{9}$ kürzer war, als die Länge des Gnomons, oder $\frac{AB}{AC} = \frac{9}{8} = 1{,}125$. Es ist aber 1,125 nahe gleich Tang. 48° 22′. Zieht man für die Reduction auf den Mittelpunct 16′ ab, so giebt dieses 48° 6′ für die Sonnenhöhe in den Nachtgleichen und von 90° abgezogen die Polhöhe = 41° 54′, mit den neuesten Bestimmungen genau übereinstimmend. Im Ganzen gewährt jedoch diese Methode der Höhenmessungen nur geringe Genauigkeit, weil die Sonne kein leuchtender Punct ist, weswegen der Halbschatten und die Beugung des Lichts grofse Ungewifsheit herbeiführen. Ebendieses ist der Fall bei der vorgeschlagenen Methode, die Höhe irdischer Gegenstände aus dem Schatten zu finden, wenn man bis zur Basis derselben selbst oder nahe an dieselbe kommen kann, weswegen man sich derselben nur bei Thürmen und ähnlichen Gegenständen, nicht füglich bei Bergen bedienen kann.

Fig. 172. Für diesen Zweck wird auf einer horizontalen Ebene D E ein Stab a b von bekannter Höhe lothrecht aufgerichtet, und dann mifst man gleichzeitig die Gröfsen A C und a C, die nicht nothwendig in der nämlichen verticalen Ebene liegen müssen, auch kann a b im Puncte C oder sonst willkürlich, selbst auf einer andern Ebene, errichtet werden, wenn nur a E und A E horizontale Ebenen und beide Gröfsen, ebenso wie a b, genau mefsbar sind. Man hat dann

$$ab : ac = AB : AC, \text{ also } AB = ab\,\frac{AC}{ac}.$$

Wenn der leuchtende und der dunkle Körper feststehn, so verändern die Schatten ihren Ort nicht, wird aber einer derselben bewegt, so bewegen sich auch die Schatten, und zwar in gleicher Richtung mit dem dunkeln und in entgegengesetzter mit dem leuchtenden Körper. Bewegt sich ein Mensch beim Scheine der Sonne oder des Mondes, so folgt ihm sein Schatten, auch bewegen sich die Schatten der Gegenstände regelmäfsig nach der regelmäfsigen Bewegung dieser leuchtenden Körper. Trägt jemand ein Licht, so bewegen sich die Schatten der dunkeln feststehenden Körper in entgegengesetzter Richtung. Hieraus und aus der Lage der Ebenen, auf welche die Schatten projicirt werden, erklärt sich das Laufen der Schatten von den durch den Wind bewegten Wolken. Vorzüglich hat man jederzeit die durch die Sonne erzeugten Schatten der Aufmerksamkeit gewürdigt. Steht

die Sonne im Horizonte, so sind die Schatten unendlich lang, um Mittag dagegen sind sie am kürzesten; beträgt die Sonnenhöhe 45°, so ist die Länge der geraden und der umgekehrten Schatten der Länge der Körper gleich. Ehemals bezeichnete man in der Geographie die Bewohner der verschiedenen Erdzonen durch die Benennungen: *Einschattige*[1], *Zweischattige*, *Umschattige* und *Unschattige*, die einzeln erläutert und am gehörigen Orte nachzusehn sind. In der gemäfsigten und kalten Zone fallen die Schatten der Körper stets nur nach einer Seite, indem das nördliche oder südliche Azimuth zunehmend wächst, während der vormittägige Schatten eines lothrechten Stiftes sich fortwährend der Mitternachtslinie oder auf der südlichen Halbkugel der Mittagslinie nähert. Wenn aber in der nördlichen Hälfte der heifsen Zone die Sonne eine gröfsere nördliche Abweichung hat, als die Polhöhe des Orts beträgt, so wächst das nördliche Azimuth der Sonne täglich vom Aufgange der Sonne an eine Zeit lang bis zu einer gewissen Gröfse, steht dann still und wird kleiner, indem die Sonne auf der Nordseite des lothrechten Stiftes culminirt. Die Schatten solcher Stifte drehen sich daher (wegen ihrer abnehmenden Länge) des Morgens zuerst gegen Norden, stehn dann still und drehn sich gegen Süden, am Nachmittage geschieht etwas Aehnliches, aber in entgegengesetzter Richtung. Für die Orte in der südlichen Hälfte der äquatorischen Zone findet das Nämliche in entgegengesetzter Richtung statt. Dieses Zurückgehn der Schatten ist von Varenius[2] und Wolf[3] als eine Merkwürdigkeit der heifsen Zone angeführt, von Widder[4] und Kaestner[5] aber ausführlich untersucht worden.

Auch die Gröfse des Halbschattens kann geometrisch gefunden werden, wenn der Durchmesser des leuchtenden Körpers (der Sonne) und die Höhe des schattengebenden Stiftes bekannt sind. Es ergiebt sich hieraus, dafs Sonnenhöhen und überhaupt die Höhen der Gegenstände zur Mittagszeit am besten gemessen werden, wie unter andern La Hire[6] gezeigt

---

1 S. Bd. III. S. 98.
2 Geographia generalis. Sect. VI. cap. 27. prop. 13.
3 Elementa geographiae math. §. 171.
4 De Solis et umbrae stili retrogradatione. Groning. 1760. 4.
5 Astron. Abh. Erste Samml. Gött. 1772. 8. S. 244.
6 Mém. de Par. 1711. p. 157.

hat. Dabei ist jedoch die Unsicherheit zu berücksichtigen, die aus der Beugung des Lichts entsteht, worüber MARALDI[1] die Resultate seiner Versuche mittheilt. Da alle hierher gehörige Aufgaben leicht und von keinem bedeutenden Nutzen für die Anwendung sind, so überhebe ich mich der weitern Verfolgung dieses Gegenstandes[2].

Gefärbte Schatten.

Die bisher betrachteten Schatten sind schwarz, mehr oder minder tief, je nach der gröfsern oder geringern Entziehung des Lichts; es giebt indefs auch gefärbte Schatten[3], deren Färbung man bis zu einer sehr bedeutenden Tiefe bringen kann. Sie haben von jeher grofse Aufmerksamkeit erregt und manche Erklärungen veranlafst, es wird jedoch genügen, von den ältern nur eine kurze Uebersicht mitzutheilen, da aus der Einfachheit und Angemessenheit der richtigen Erklärung die Unhaltbarkeit der übrigen von selbst folgt.

Die am häufigsten vorkommenden gefärbten Schatten sind die blauen, die sich bei der Morgen- und Abenddämmerung zeigen und eine unverkennbare hellere oder dunklere Farbe zeigen, je nachdem die durch ein Kerzenlicht erzeugten Schatten, wenn sie auf eine weifse Fläche fallen, durch mehr oder minder helles Tageslicht erhellt werden. LEONARDO DA VINCI, der im Anfange des 16. Jahrhunderts lebte, redet zuerst von ihnen[4], indem er beobachtet hatte, dafs die Schatten auf einer weifsen Mauer gegen Abend blau seyen. Nach seiner Meinung, welcher auch GEHLER[5] beipflichtet, liegt die Ursache in der Bläue des Himmels, welche den Schatten erhellen soll, während auf die übrigen Theile röthliches Licht von der Sonne fällt. Inzwischen ist diese Hypothese leicht zu widerlegen; sie fällt von selbst weg, wenn man die Bläue des Himmels für eine subjective Farbe hält[6], findet aber darin

---

1 Ebend. 1723. S. 111. Vergl. LAMBERT Photometria §. 1218.

2 Eine ausführliche mathematische Construction des Halbschattens giebt BONNONI in Giornale di Fisica cet. T. XV. p. 255.

3 Vergl. Art. *Farben*. Bd. IV. S. 129.

4 Traité de la Peinture. Par. 1651. ch. 328.

5 Wörterb. Th. III. S. 824.

6 *Atmosphäre* Bd. I. S. 504.

einen genügenden Gegengrund, dafs kein durch den reinsten blauen Himmel in nach Norden gelegenen Zimmern erleuchteter Gegenstand die geringste blaue Färbung zeigt. Otto v. Guericke[1] erwähnt zuerst die blauen Schatten, die sich bei Kerzenlichte in der Morgendämmerung zeigen, und betrachtet sie als einen Beweis, dafs Weifs und Schwarz Blau erzeugen. Von da an bis 1742 findet man die Sache nicht weiter erwähnt. In diesem Jahre aber, im Monat Juli, beobachtete Büffon[2], als die Sonne roth unterging, der heitere Himmel aber in Westen mit dünnen, gelbrothen Wolken überzogen war, dafs die Schatten der Bäume auf einer weifsen Mauer eine zarte grüne, etwas ins Blaue spielende, Farbe hatten; namentlich war der Schatten einer nur 3 Fufs abstehenden Laube lebhaft grün. Die Erscheinung dauerte 5 Minuten. Am folgenden Morgen, bei gelblichen Dünsten in Osten, waren die Schatten blau und nach 3 Minuten schwarz; am Abende dieses Tages aber zeigten sie sich wieder grün. Nach einer Unterbrechung von sieben Tagen durch trübes Wetter setzte er die Beobachtungen fort, sah aber nur blaue Schatten von verschiedener Tiefe, und bemerkte, dafs so gefärbte Schatten von jedem leicht beobachtet werden könnten, wenn man nur während der Morgendämmerung das von einer Kerzenflamme auf weifses Papier fallende Licht durch einen Finger auffange, welches auch allerdings das einfachste Mittel ist, die Erscheinung wahrzunehmen. Büffon hat hiernach also die grünen Schatten gleichfalls beachtet, dennoch aber berücksichtigte man später fast nur die blauen. Der Abbé Mazeas[3] fand, dafs die zwei Schatten, welche gleichzeitig durch einen dunkeln Körper vom Monden- und Kerzenlichte erzeugt werden, ersteren röthlich, letzterer bläulich gefärbt seyen, betrachtete dieses aber blofs als eine Schwächung des Lichts. Diesen Versuch wiederholte Wilkens[4], weil Bernhmann[5] gesagt hatte, eine Charte im Mondschein gebe schwarzen, nicht röthlichen Schatten, und fand, dafs der durch Kerzenlicht erhellte Mondschatten hellbraun, der durch Mondschein erhellte Kerzenschatten aber blau sey. Mel-

1 Exper. nova de Vac. Spat. Amst. 1672. fol. p. 142.
2 Mém. de Paris. 1742. p. 217.
3 Mém. de l'Acad. de Prusse. 1752.
4 Gren. Journ. d. Phys. T. VII. p. 21.
5 Beschreibung d. Erdk. Th. II, S. 20.

VILLE[1] und BOUGUER[2] traten der durch LIONARDO DA VINCI aufgestellten Hypothese bei, und schrieben die bläuliche Färbung der Bläue des Himmels zu, wodurch der Schatten eines Körpers im Tageslichte auf weifsem Papiere beleuchtet würde, wobei ersterer jene Färbung selbst von den Dünsten der Atmosphäre ableitete.

Seit BÜFFON stellte zuerst wieder BEGUELIN[3] zahlreiche Versuche über die blauen Schatten an, dehnte aber seine Untersuchungen nicht auf sonstig gefärbte aus, und blieb daher der eben erwähnten Hypothese gleichfalls treu. Die von BÜFFON wahrgenommene grüne Färbung leitete er von zufällig beigemischten gelben Strahlen ab, vielleicht von einem gelblichen Anstriche der Mauer. Das Blau der Schatten komme zum Vorschein, sobald die Beleuchtung der angrenzenden Stellen schwach genug sey, um den Wiederschein des vom blauen Himmel auf die beschatteten Stellen auffallenden Lichts wahrzunehmen, also bei einem niedrigen Stande der Sonne. Als die Sonne am Abend noch 4° Höhe hatte, zeigte sich der Schatten seines Fingers noch grau, wenn er aber das Papier fast horizontal hielt, dafs die Sonnenstrahlen sehr schief auffielen, erschien das ganze Papier bläulich und der Schatten schön hellblau. Eine Viertelstunde später fing der Schatten an blau zu werden, auch wenn die Sonne senkrecht auf das Papier schien, wenn man dasselbe aber gegen die Erde kehrte, waren die auf die untere Seite fallenden Strahlen nicht blau. Um sehr schöne blaue Schatten zu erhalten, mufste die Sonne nicht höher als 2° stehen, doch fingen sie zuweilen an, eine bläuliche Färbung anzunehmen, wenn die Sonnenhöhe noch 7° betrug. Wird das Sonnenlicht von einem gegenüberstehenden weifsen Hause in ein Zimmer geworfen, so entstehn zu jeder Tagszeit blaue Schatten, wenn nur am Orte des Versuchs ein Theil des blauen Himmels sichtbar ist[4]. Die hier gegebene Erklärung erhielt sehr allgemeinen Beifall, obgleich

---

1 Edinburgh Essays. T. II. p. 75.

2 Traité d'Optique p. 368.

3 Mém. de l'Acad. de Berlin. 1767. p. 27.

4 Die letztere Behauptung ist nicht in ganzer Strenge richtig, wohl aber gilt sie für nach Norden gelegene, also schwach beleuchtete, Zimmer, indem das weniger helle Tageslicht das schwächere Licht am Morgen vertritt.

Digitized by Google

ein Ungenannter[1] das richtige Argument entgegenstellte, dafs man Schatten von verschiedenen Farben erhalten könne, so oft Gegenstände von mehr als einem Lichte beleuchtet würden, wenn diese nur ein bestimmtes Verhältnifs der Stärke hätten. Hierdurch, nicht aber durch den Wiederschein vom blauen Himmel, werde also auch der blaue Schatten erzeugt.

Monge[2] stellte eine grofse Menge Versuche an, um die Ursache der gefärbten Schatten aufzufinden, der er auch sehr nahe kam, ohne jedoch den eigentlichen Grund aufzufinden. Im Allgemeinen leitete er die gefärbten Schatten von einer Zerlegung des Lichts oder einer Schwächung desselben ab, die es hindere, in seinem völligen Glanze zu erscheinen. Die Empfindung der Farben beruhe überhaupt nicht blofs auf der Natur der Lichtstrahlen, sondern werde, eben wie das Urtheil über Gröfse und Entfernung, durch Verhältnisse bestimmt. Die Entstehung der blauen Schatten einer Lichtkerze in der Morgendämmerung rührt nach seiner Ansicht daher, dafs das Papier nicht alles Lichts beraubt, sondern zugleich durch das Licht des blauen Himmels erhellet wird. Werde dann das Licht ausgelöscht, so finde für die gesammte Papierfläche die nämliche Bedingung statt, als vorher für den beschatteten Theil, erscheine dann aber nicht mehr blau. Um dieses zu erklären stellt er den Satz auf, dafs uns alle Körper, sobald nur Lichtstrahlen einer Art zum Auge gelangen, weifs erscheinen. Fallen also blofs rothe Strahlen auf weifses Papier, so erscheint uns dieses dennoch weifs, und eben so halten wir rothe Objecte durch rothe Gläser betrachtet für weifs. Färbung entsteht also überhaupt nur durch den Gegensatz verschiedenen Lichts. Gegen das Sehen des weifsen Lichts beim Vorhandenseyn blofs einer Art farbigen Lichts hat sich Le Gentil[3] bereits erklärt und die Thatsache überhaupt als unstatthaft oder auf Täuschung beruhend angegeben. Letzteres ist allerdings der Fall, und die Ursache liegt eben darin, dafs das Auge allmälig durch den dauernden Eindruck einer jeden

---

1 Journ. de Phys. 1783. Dec.

2 Ann. de Chim. T. III. p. 131. Daraus in Gren Journ. T. II. p. 142. Vergl. Journ. de Phys. T. XII. p. 127.

3 Ann. de Chim. T. X. p. 225. Daraus in Green Journ. T. VI. p. 165.

Digitized by Google

Farbe abgestumpft wird, deswegen also durch gefärbte Gläser hauptsächlich nur die Gestalten der Körper bei geringerer Lichtstärke wahrzunehmen pflegt. Die Gegenstände erscheinen daher durch alle gefärbte Gläser nach einiger Zeit blofs minder hell und wegen des anderweitigen durchgehenden Lichts in ihren eigentlichen Farben mit hervorstechender Tiefe derjenigen Färbung, die dem Glase eigen ist. Näher kam Mongez der eigentlichen Erklärung der Sache dadurch, dafs er das Phänomen mit andern, wirklich damit verwandten, in Verbindung brachte, nämlich dafs der Lichtkreis, welcher von der Sonne durch eine Oeffnung in einem rothen seidenen Vorhange auf weifses Papier fällt, grün erscheint, bei einem grünen Vorhange aber roth. Gehler[1] verweiset zwar diese Thatsache als nichts beweisend unter die Classe der zufälligen Farben, aber aus der richtigen Erklärung der gefärbten Schatten geht evident hervor, dafs beide Arten von Phänomenen allerdings zusammengehören.

Eine Reihe interessanter Versuche, wodurch Beguelin's gangbare Hypothese völlig umgestofsen wurde, stellte Rumford[2] an. Unter der grofsen Zahl erwähne ich blofs diejenigen, die zu jener Widerlegung hauptsächlich dienen. Wenn man ein verfinstertes Zimmer durch eine Lichtkerze erhellet, dann einen Fensterladen nur etwa $\frac{1}{2}$ oder $\frac{3}{4}$ Zoll weit öffnet, so dafs nur wenig Tagslicht hineinfällt, dann die Kerze so stellt, dafs sie mit dem einfallenden Tagslichte einen Winkel von etwa 40° bildet, so erzeugt ein beide Lichtquellen auffangender dunkler Körper auf 2 bis 3 Zoll von ihm abstehendem weifsen Papiere zwei Schatten, einen gelben (gelbrothen) und einen blauen, und zwar ist der des Kerzenlichtes blau, der des Tageslichtes gelb. Nähert man die Kerze mehr, so wird der blaue Schatten tiefer, der gelbe blasser, bleibt die Kerze unverrückt, so entstehn diese Veränderungen auch durch mehr oder minderes Oeffnen des Fensterladens. Rumford hielt es für nicht schwer, die Entstehung des gelben Schattens zu erklären, desto mehr die des blauen; jedoch war er überzeugt, dafs die Ursache nicht in der Färbung des Himmels liegen könne, da die Farbe dann am schönsten zum Vorschein kam,

---

1 Wörterbuch. Th. V. S. 814.

2 Phil. Trans. 1794. P. 1. p. 107. Gren's N. Journ. T. II p. 58.

wenn das einfallende Tageslicht von ganz weifsem Schnee des benachbarten Daches reflectirt wurde. Gelegentlich erstreckten sich seine Versuche auch auf die subjectiven Farben, und alle Erscheinungen vermochten ihn, zu schliefsen, dafs die Färbung der Schatten nur auf einer Täuschung durch den Contrast oder irgend einer Wirkung anderer umgebender Farben beruhe.

Schon vor geraumer Zeit stellte Prevost[1] die Hypothese auf, die blauen Schatten entständen durch die stärkere Beugung der blauen Lichtstrahlen um die Ränder der undurchsichtigen Körper und sie gingen ins Grüne über, wenn zu ihrer Bläue gelbe Strahlen hinzukämen. Eben diese Hypothese hat später Franz v. Paula Schrank[2] mit einer an Weitschweifigkeit grenzenden Ausführlichkeit darzuthun gestrebt; inzwischen scheint es mir überflüssig, die grofse Zahl seiner angestellten Versuche hier nachzuerzählen, da sie sämmtlich aus der richtigen Theorie leicht erklärt werden können. Hassenfratz[3] stellt eine grofse Menge theils wahrer, theils falscher Thatsachen zusammen, die jedoch nicht genügen, den eigentlichen Grund des fraglichen Problems aufzufinden. Nach ihm soll der blaue Schatten bei gleicher Höhe der aufgehenden Sonne zu Messina violett, zu Paris blau mit einem kleinen Stich ins Grünliche, zu Kopenhagen merklicher grün, zu Petersburg noch mehr und zu Skalholt völlig grün seyn. Ebenso soll er um Mittag an diesen Orten vom Schwarz zum Violett übergehn, beides, wie überhaupt die Färbung der Schatten, eine Folge der Helligkeit des Sonnenlichts und des der Atmosphäre. Mit einer mehr oder weniger genäherten Kerzenflamme, also durch wechselnde Stärke des Lichts, lasse sich diese Erscheinung künstlich nachmachen. Wenn in einem Zimmer mehr Lichtquellen mit dem von der Atmosphäre oder sonstigen Körpern reflectirten Lichte zusammenkommen, so lassen sich alle mögliche Farben der Schatten erzeugen, welche aber im Allgemeinen darauf hinauskommen, dafs Gelb und Blau, Roth und Grün sich wechselseitig hervorbringen. So werden diese beiden Farben der Schatten allezeit wechseln, wenn verschiedene Lichter in einem übrigens dunkeln und kein

---

1 Journ. de Phys. T. XXIII. p. 402.
2 Münchener Denkschr. 1811. u. 12. S 293. und 1813. S. 51.
3 Journ. de l'École Polyt Cah. XI. p. 272.

Digitized by Google

farbiges Licht reflectirenden Zimmer sie hervorbringen, wovon der Grund in der gröfsern oder geringern Menge des verbrennenden Wasserstoffgas liegen soll. Es scheint mir überflüssig, eine ausführliche Prüfung aller dieser verschiedenen Sätze folgen zu lassen.

Es wird genügen, den Inhalt zweier Abhandlungen nur kurz anzugeben, die ausführlich über diesen Gegenstand handeln. Das Resultat der Untersuchungen, welche Zschokke[1] mit Benutzung theils der meisten bisher bekannt gewordenen, theils eigends deswegen angestellter Versuche erhalten hat, kommt im Wesentlichen darauf hinaus, dafs farbiges Licht keinen schwarzen Schatten geben könne, sondern nur einen gefärbten von derjenigen Farbe, welche das Licht haben würde, wenn der Schatten die Farben des Lichts hätte. Es ist dieses jedoch nur eine etwas künstliche Darstellung des Satzes, dafs die Schatten allezeit die complementäre Farbe des sie erzeugenden Lichts haben sollen, wofür sich einige Gründe aus der Erfahrung beibringen lassen; allein das Ganze giebt eigentlich keine wirkliche Erklärung, um so weniger, als bei einer Abstraction von den farbigen Schatten der Ausdruck auf die schwarzen gar keine Anwendung leidet. Trechsel[2] ist auch bereits als Gegner dieser Hypothese aufgetreten und hat die Unzulässigkeit derselben nachgewiesen, die aus einem einfachen Versuche mit Evidenz hervorgeht, wenn man ein dunkles Zimmer mit Brewster's monochromatischer Lampe[3] erhellet und einen durch dieses Licht erzeugten Schatten auf weifses Papier fallen läfst, welcher sonach blau seyn müfste, aber blofs grau ist, weil er wegen geringer Intensität des Lichts nicht tief schwarz seyn kann. Es versteht sich auch von selbst, dafs einfach und ohne Nebenbedingungen die Entziehung des vorhandenen Lichts jeder Art nichts anderes als Nichtlicht, d. h. Schwarz, erzeugen kann. Anderweitige Versuche dieser Art sind jedoch leicht täuschend, weil es schwierig ist, ganz einfaches Licht zu erhalten. Nach Trechsel sind die Farben der Schatten theils subjectiv, theils objectiv,

---

1 Die farbigen Schatten u. s. w. Arau 1826. 8.

2 Biblioth. univ. T. XXXII. p. 3.

3 Eine gewöhnliche Weingeistlampe, auf deren Docht man einige Krystalle Kochsalz legt.

Digitized by Google

die erstern in Folge der Ermüdung des Auges durch einen stärkern Lichteindruck, die letztern, insofern sie durch die Farbe des Lichts, welches den Schatten erleuchtet, erzeugt werden.

Die gehaltreichste Darstellung dieser Aufgabe ist von Pietro Petrini[1], welcher die bekannten Erfahrungen durch einige neue vermehrt hat. Er stellt folgenden allgemeinen Satz auf: wenn unser Auge zwei Lichtmassen A und B zugleich wahrnimmt, und in A ein farbiger Bestandtheil mit gröfserer Intensität wirkt, als in B, so verschwindet in eben dem Mafse dieser Lichteindruck in B, und bleibt davon nur das complementäre Licht übrig. Als Beispiel wird angeführt, dafs der Schatten eines Würfels auf weifsem Papiere grün wird, wenn man das von rothem Papiere reflectirte Licht auf den Apparat fallen läfst. Diese Erklärung ist ohne Widerrede die richtige, und genügt allen hierüber bekannt gewordenen Erscheinungen. Jeder Nerv ermüdet durch einen lange anhaltenden Eindruck auf denselben und jeder schwächere Eindruck verschwindet oder wird weniger lebhaft empfunden, wenn ein anderer stärker gleichzeitig vorhanden ist. Wenn daher das Auge einen starken Eindruck von einem gewissen farbigen Lichte erhält, so verschwindet diese Farbe aus dem schwächeren weifsen Lichte, welches den Schatten erleuchtet und die entgegengesetzte Farbe wirkt um so lebhafter, wie in den neuesten Zeiten namentlich v. Goethe[2] überzeugeud dargethan hat. Hiervon läfst sich leicht eine Anwendung auf die so viel untersuchten blauen Schatten machen, die entstehn, wenn die durch ein Kerzenlicht erzeugten vom Tageslichte erhellet werden, statt dafs die durch das Tagslicht erzeugten durch Kerzenlicht eine gelbröthliche Färbung erhalten. Kerzenlicht ist nicht absolut weifs, sondern hat stets eine gelbröthliche Färbung, weil der gesammte Kohlenstoff in der Flamme nicht zum vollständigen Weifsglühn gelangt, sondern zum Theil nur roth oder rothgelb glüht. In dem die Schatten der Kerzen erhellenden Tagslichte am Morgen und am Abend (denn am hellen Tage ist das Sonnenlicht so stark,

---

1 Memorie di Mat. e di Fisica della Soc. Ital. T. XIII. p. 11.

2 Zur Farbenlehre Th. IV. p. 27.

dafs Kerzen keinen hinlänglich wahrnehmbaren Schatten geben) wird daher die durch die Flamme in vorzüglicher Stärke erzeugte rothgelbe Farbe am wenigsten wirksam seyn, und daher mufs er als Blau erscheinen. Um dieses deutlicher einzusehn, denke man sich im weifsen Tageslichte die rothen und gelben Strahlen oder auch nur die einen von beiden, in Folge ihres geringen Eindrucks fehlend oder geschwächt, also das Gelb und Roth an sich und im Orange, das Gelb im Grün und das Roth im Violett, so bleibt das Blau an sich, im Violett und im Grün (alles dieses blofs in Beziehung auf den Eindruck genommen, welchen das farbige Licht auf das Auge macht), und der Schatten mufs daher in vielfachen Abstufungen, je nach der gröfsern oder geringern Wirksamkeit des farbigen Lichts in der Flamme und dem Tageslichte, blau gefärbt erscheinen. Zugleich sind auch im Tageslichte selbst die gelben Strahlen die stärksten, weswegen das vollkommene Weifs, namentlich beim Papier, der Wäsche, den Wänden u. s. w. leicht ins Gelbliche spielt, und man daher diesen Schein durch einen geringen Zusatz von Blau entfernt, wie mir denn auch die fast unerreichbare blendende Weifse des Schnees auf der unmerklichen bläulichen Färbung zu beruhn scheint, die dem reinen Wasser nach H. Davy eigen ist und sich im Eise kenntlich macht. Wenn also das weifse Papier, auf welches der Kerzenschatten fällt, schwaches Tageslicht mit etwas wenig überwiegendem Gelb und zugleich das rothgelbliche Kerzenlicht reflectirt, durch welches das Auge ohnehin unmittelbar von der Flamme aus afficirt ist, so mufs dasselbe hiergegen unempfindlicher werden und dieser Antheil daher aus dem schwächern, vom Schatten zurückgeworfenen Lichte schwinden, so dafs das blaue Licht hierin überwiegend zum Vorschein kommt.

Dafs die blauen Schatten vorzugsweise häufig beobachtet werden, hat hauptsächlich darin seinen Grund, weil die Bedingungen zu ihrer Erzeugung so oft von selbst gegeben werden; zugleich aber mag auch der Umstand hierbei mitwirkend seyn, dafs das Auge gegen die beiden Farben Gelb und Blau am empfindlichsten ist, indem das Unvermögen, gewisse Farben zu erkennen, sich wohl ausschliefslich auf Grün und Roth erstreckt[1].

---

1 Vergl. *Gesicht* Bd. IV. S. 1423.

Es ist jedoch nicht schwer, auch sonstige gefärbte Schatten künstlich zu erzeugen, die ohnehin zuweilen von selbst zum Vorschein kommen. Die Schatten des Tageslichts, durch gelbröthliches Kerzenlicht erhellet, müssen schon in Folge des Gegensatzes in dieser Farbe erscheinen; man nimmt sie am besten wahr, wenn man Morgens oder Abends bei schwachem Lichte von aufsen in ein erleuchtetes Zimmer sieht. Blaue Schatten kann man auch durch blofses Tageslicht von ungleicher Stärke erzeugen. Wenn nämlich gegen Sonnenuntergang die röthlich gelben Strahlen der Sonne schräg gegen eine Wand westlich liegender Zimmer fällt, so erhält man bei etwa 6 bis 10 Fufs Entfernung vom Fenster auf weifsem, horizontal liegendem Papiere vermittelst eines undurchsichtigen Stiftes einen schwarzen Kernschatten und einen schönen blauen Halbschatten. Dieser wird durch die von der Wand reflectirten, seitwärts vom Auge schwach wahrgenommenen gelbrothen Strahlen erzeugt und fällt weg, wenn man diesen den Rücken zuwendet. Fällt in heitern Wintertagen der Schatten gegen Abend auf die Fläche des weifsen Schnees, so ist er schön blau. Sonstige schön und sehr kenntlich gefärbte Schatten erhält man leicht, wenn man Kerzenlicht in einem blofs hierdurch erhelleten Zimmer zum Theil frei, zum Theil durch eine gefärbte Glasscheibe auf weifses Papier fallen läfst und in dem farbigen Theile des Papiers durch einen hinter die Glasscheibe gehaltenen Stift einen Schatten erzeugt, dessen Farbe allezeit die complementäre der Glasscheibe ist, und mehr oder weniger tief erscheint, je nachdem sich der Schatten dem Rande des farbigen Lichts mehr nähert oder mehr davon entfernt. Hierbei giebt eine rothe Scheibe grünen Schatten und umgekehrt eine grüne rothen, eine violette orangefarbenen, eine gelbe blauen und umgekehrt, welches alles aus der angegebenen Theorie nothwendig folgt. Vermittelst des Tageslichts lassen sich diese Erscheinungen gleichfalls, aber minder leicht, hervorbringen.

M.

Digitized by Google

Scheel.

Wolfram, Wolframmetall, Tungsteinmetall; *Schelium, Wolframium;* Tungstène; *Tungstenum.*

Dieses wenig verbreitete Metall findet sich im scheelsauren Kalk (Tungstein), im scheelsauren Eisen- und Mangan-Oxydul (Wolfram) und im scheelsauren Bleioxyd. Es ist stahlgrau von 17,4 spec. Gew., sehr hart und sehr strengflüssig.

Aufser einem braunen *Suboxydul* und einem blauen *Suboxyd* bildet es mit Sauerstoff die *Scheelsäure* (96 Scheel auf 24 Sauerstoff), welche ein gelbes, geschmackloses Lakmus nicht röthendes, nicht im Wasser, fast gar nicht in Säuren, aufser ein wenig in Salz- und Flufssäure lösliches, aber mit Salzbasen zu oft krystallisirbaren Salzen, von denen die des Ammoniaks, Kali's, Natrons und der Bittererde im Wasser löslich sind, verbindbares Pulver darstellt.

Mit weniger Chlor liefert es eine dunkelrothe, schmelzbare, in gelbrothen Dämpfen verflüchtigbare und in Nadeln krystallisirende, mit mehr Chlor aber eine mit gelblicher Farbe verdampfbare und sich in gelbweifsen Krystallschuppen sublimirende Verbindung. Mit weniger Schwefel bildet es ein grauschwarzes, mit mehr ein hellgelbes Pulver.

G.

Scheitelkreis.

Verticalkreis, Verticalcirkel; *Circulus verticalis;* Vertical, Cercle vertical; *Vertical circle.*

Scheitel heifst der obere Theil des Kopfes, metaphorisch der Kopf selbst. Wendet man dieses auf das Himmelsgewölbe an, so heifst der höchste Punct desselben gleichfalls der *Scheitel*, gewöhnlicher in der Astronomie *Zenith*, von welchem aus eine Linie durch den Mittelpunct der Erde, diese als Kugel gedacht, verlängert, auf der entgegengesetzten Seite in den *Nadir* trifft. Der Scheitelpunct des Himmelsgewölbes oder

das Zenith, wird also für jeden Punct der Erdoberfläche durch die Falllinie gegeben, wenn man diese in der Vorstellung bis zum Himmelsgewölbe verlängert. Bekanntlich bildet aber die einen Punct der Erdoberfläche berührende, bis an das Himmelsgewölbe gleichfalls verlängerte Ebene, vermöge der scheinbaren Begrenzung derselben durch das Himmelsgewölbe, den Horizont, worauf das Himmelsgewölbe selbst als eine hohle Halbkugel zu ruhen scheint, und der höchste Punct der letztern ist dann der Scheitel oder das Zenith. Alle Halbkreise, die man aus einem Puncte im Horizonte durch den Scheitel bis wieder zum Horizonte, dann durch den Nadir bis wieder zum Anfangspuncte im Horizonte zieht, also alle durch Zenith und Nadir gelegte gröfste Kreise der hohlen Himmelskugel, heifsen Scheitelkreise. Hieraus folgt, dafs sie alle auf dem Horizonte senkrecht stehn und diesen in zwei gleiche Hälften theilen; derjenige aber, welcher durch den wahren Morgen- und Abendpunct geht, heifst der *erste Scheitelkreis* (*Verticalis primarius;* Le premier Vertical; *Prime Vertical*); er schneidet den Mittagskreis in zwei gleiche Hälften und steht auf ihm senkrecht, aber der Mittagskreis selbst ist gleichfalls ein Scheitelkreis. Legt man einen Scheitelkreis durch irgend einen Stern, so dienen die unter diesem bis zum Horizonte befindlichen Theile desselben nach der Kreiseintheilung zur Bestimmung seiner *Höhe,* die auch wohl die Höhe über dem Horizonte genannt wird, die vom Scheitel bis zum Sterne befindlichen Theile aber geben den *Abstand vom Scheitel* oder die *Zenith-Distanz.* Jeder Stern erreicht seine gröfste Höhe, wenn er sich im Mittagskreise befindet.

M.

Scheitellinie.

Verticallinie, lothrechte Linie; *Linea verticalis;* Ligne verticale, Ligne à Plomb; *Vertical Line;* ist die Falllinie der Körper oder diejenige Linie, in welcher die Körper vermöge ihrer Schwere fallen.

M.

Schiefspulver.

Pulvis pyrius; Poudre à canon; *Gunpowder.*

Ein inniges Gemenge von Salpeter, Schwefel und Kohle nach einem bestimmten Verhältnisse. Seine Wirksamkeit hängt vorzüglich von der Reinheit des Salpeters, der gröfsern Weichheit und Verbrennlichkeit der Kohle, dem richtigen Verhältnisse und der feinen Mengung der drei Ingredienzien und von der Trockenheit des Pulvers ab. Das gewöhnliche, namentlich in England und Frankreich für das Kriegspulver beobachtete Verhältnifs, nach welchem Salpeter, Kohle und Schwefel gemengt werden, ist das von 75:12,5:12,5; — in Preufsen ist es: 75:13,5:11,5. Diese Verhältnisse, welche nach mehr als hundertjähriger Erfahrung das wirksamste Pulver liefern, stimmen sehr mit dem überein, welches man durch stöchiometrische Berechnung erhält, von dem Grundsatze ausgehend, dafs ein gutes Schiefspulver 1 Mischungsgewicht Salpeter (= 47,2 Kali + 54 Salpetersäure, = 101,2), 3 Kohle (= 3 . 6 = 18) und 1 Schwefel (= 16) enthalten müsse, was in 100 Theilen Schiefspulver 74,85 Salpeter, 13,31 Kohle und 11,84 Schwefel ausmacht. Bei der vollkommenen Zersetzung eines solchen Schiefspulvers, wie sie bei seiner raschen Verbrennung eintritt, vereinigen sich dann die 3 Mischungsgewichte Kohlenstoff mit den 5 Mischungsgewichten Sauerstoff der Salpetersäure und dem 1 M. G. Sauerstoff des Kali's zu 3 M. Gewichten Kohlensäure, die sich nebst dem aus der Salpetersäure frei werdenden Stickstoff in Gasgestalt entwickelt, während sich der Schwefel mit dem Kalium zu Einfachschwefelkalium vereinigt. Der Schwefel nützt daher vorzüglich dadurch, dafs er die Menge des kohlensauren Gases vermehrt, da ohne ihn das Kalium keinen Sauerstoff an die Kohle abgeben und das Kali von der erzeugten Kohlensäure einen grofsen Theil zurückbehalten würde. Wird die Verbrennung durch Feuchtigkeit, beigemengten Sand u. s. w. verlangsamt, so erfolgt wegen geringerer Temperaturerhöhung die Zersetzung der Salpetersäure unvollständiger und es wird auch Salpetergas und Kohlenoxydgas entwickelt. Bei der vollständigen Verbrennung dagegen liefern nach obiger stöchiometrischer Annahme 100 Theile Schiefspulver 10,35 Theile Stickgas, 48,80 Theile kohlensaures Gas und 40,85 Theile Schwefelkalium. Nach

Digitized by Google

Brianchon[1] wiegt 1 Liter Schiefspulver 900 Gramm; dieses liefert also 9. 10,35 = 93,15 Gramm Stickgas und 9. 48,80 = 439,2 Gramm kohlensaures Gas. Bei 0° Temperatur und 0,76 Meter Luftdruck 1 Liter Stickgas zu 1,2609 Gramm und 1 Liter kohlensaurem Gas zu 1,9844 Gramm angenommen, liefert also 1 Liter Schiefspulver 74 Liter Stickgas und 222 Liter kohlensaures Gas, also zusammen 296 Liter Gas bei 0°. Dieser Berechnung kommen directe Versuche ziemlich nahe. 1 Mafs Schiefspulver giebt nach Hawksbee beim Verbrennen 232, nach Robins 244 und nach Salucer 266 Mafs Gas. Aufserdem mufs bei der explodirenden Wirkung des Schiefspulvers noch die hohe Temperatur in Anschlag gebracht werden, welche im Moment der Entzündung nicht blofs den beiden Gasen eine viel gröfsere Elasticität ertheilt, sondern zugleich das Schwefelkalium in Dampf verwandelt. Nimmt man als das Wahrscheinlichste an, dafs ein Mischungsgewicht Schwefelkalium in Gasgestalt einen eben so grofsen Raum einnimmt, wie 1 M. G. Stickstoff, so würde der Dampf des Schwefelkaliums bei 0° gedacht, gleich dem Stickgas zu 74 Liter anzuschlagen seyn, so dafs aus 1 Liter Schiefspulver im Ganzen 370 Liter Gas bei 0° Temperatur erzeugt würden. Wird endlich die Temperatur des brennenden Schiefspulvers etwa zu 800° C. angeschlagen, wo nach Gay-Lüssac's Gesetzen die Elasticität eines Gases 4mal so grofs ist, als bei 0°, so wäre die Kraft des Schiefspulvers im Moment der Explosion = 4.370 = 1480 Atmosphären. Oder nimmt man gar mit Brianchon die Temperatur zu 2400° an, bei welcher die Gase eine zehnfach gröfsere Ausdehnung erreichen, als bei 0°, so wäre die Kraft des Schiefspulvers sogar auf 10.340 = 3400 Atmosphären zu setzen. Jedoch ist theils diese Temperaturannahme ohne Zweifel zu hoch, theils mufs die wirkliche Kraft des Schiefspulvers immer unter der berechneten bleiben, weil die Verbrennung desselben nicht ganz gleichzeitig ist, und daher die ersten Mengen des glühenden Gases sich schon wieder abkühlten, während sich die letzten erzeugen und weil gewöhnlich ein Theil des Pulvers unverbrannt fortgeschleudert wird.

Bei einigen Pulverarten werden die Ingredienzien in etwas abweichenden Verhältnissen gemengt. So ist das in Frank-

---

1 Journal de Physique T. XCV. p. 221.

Digitized by Google

reich beobachtete Verhältnifs des Salpeters, der Kohle und des Schwefels beim Jagdpulver = 78:12:10 und beim Sprengpulver = 65:15:20. Beim Verbrennen des erstern möchte wegen überwiegenden Salpeters neben dem Schwefelkalium auch schwefelsaures und kohlensaures Kali entstehn, bei der des letztern wird sich neben Stickgas und kohlensaurem Gas auch Kohlenoxydgas entwickeln und statt Einfachschwefelkalium Doppelschwefelkalium gebildet werden; es entwickelt mehr Gas, aber weniger Wärme, als das Kriegspulver.

Die Temperatur, bei welcher die Entzündung des Schiefspulvers erfolgt, ist nach Muncke[1] 300°; wird es einer etwas niedrigern Temperatur von höchstens 287° längere Zeit in einem Löffel dargeboten, so verdampft allmälig der Schwefel und der Rückstand, der sich jetzt ohne Entzündung bis zu 312° erhitzen läfst, trennt sich in schmelzenden Salpeter und sich darüber erhebendes Kohlenpulver, welches sich nur langsam oxydirt.

Nach Muncke läfst sich das Schiefspulver durch rasche Erhitzung ebenso gut in Wasserstoffgas, Stickgas, kohlensaurem Gas, Stickoxydul- und Stickoxydgas, wie in atmosphärischer Luft entzünden; desgleichen wenn es in einer Glasröhre eingepreſst und mit Quecksilber bedeckt ist. Dagegen läfst es sich zwar nach Colin und Taillefer, aber nicht nach Muncke im luftleeren Raume zur Explosion bringen. Nach letzterem erfolgt bei höchstens 1 Linie Differenz des Barometerstandes auch bei sehr rascher und starker Erhitzung keine Explosion, sondern der Schwefel verdampft schnell (wahrscheinlich, weil dessen Siedepunct im luftleeren Raum niedriger liegt, als die Temperatur, bei der die Entzündung des Schiefspulvers erfolgt), und der Rest trennt sich dann auch in schmelzenden Salpeter und aufschwingende Kohle, wie beim langsamen Erhitzen des Schiefspulvers an der freien Luft.

Ueber Schiefspulver aus chlorsaurem Kali ist bereits oben[2] gehandelt. Schiefspulver mit salpetersaurem Natron bereitet, hat nach Proust viel weniger Kraft, als das gewöhnliche und wird auch leichter feucht.

In Nordamerica bedient man sich bisweilen eines *gelben*

---

1 Ueber das Schiefspulver. Marburg 1817.

2 Art. *Kalium*. Bd. V. S. 841.

Digitized by Google

Schiefspulvers, theils zum Laden der Gewehre, theils blofs auf die Zündpfanne. Dieses gelbe Schiefspulver ist *Knallpulver*[1], auf einer Eisenplatte mit gröfster Vorsicht bis zum anfangenden Schmelzen, nicht ganz bis zur Explosion erhitzt, dann gepulvert und in gut verschlossenen Flaschen bewahrt. Es verpufft viel schneller als gewöhnliches Pulver, treibt aber die Kugel nur halb so stark, wegen geringerer Gasentwickelung und wird bald feucht[2].

G.

Schlag, elektrischer.

Elektrische Erschütterung; *Explosio electrica, concussio seu commotio electrica;* **explosion ou commotion électrique;** *electric shock or electric explosion.*

Wenn die beiden Elektricitäten einer geladenen elektrischen Vorrichtung durch eine leitende Verbindung so vereinigt und zur wechselseitigen Ausgleichung gebracht werden, dafs jene Verbindung wenigstens an einer Stelle noch unterbrochen bleibt, so entsteht bei der Entladung oder bei dem Uebergange beider Elektricitäten an dieser Stelle eine starke Explosion, wobei sich ein lebhafter Funke zeigt, und eben diese Explosion heifst der *elektrische Schlag*. Die Gewalt, das Licht und der Schall sind beim el. Schlage weit stärker als bei dem Funken, welcher aus einem blofs einfach elektrischen Leiter gezogen wird, und kann wenigstens derselbe in dieser Hinsicht durch die dazu passenden Apparate weit höher gesteigert werden, als letzterer. Geschieht die Entladung durch den lebenden menschlichen Körper, oder einen Theil desselben, so verursacht sie eine plötzliche unwillkürliche Zusammenziehung der Muskeln, durch welche sie ihren Weg nimmt und eine eigenthümliche unangenehme Empfindung, die sogenannte el. *Erschütterung*.

Bereits unter dem Artikel: *Batterie, elektrische Flasche, geladene, Funke, elektrischer und Leiter, elektri-*

1 S. oben Bd. V. S. 840.

3 Gutrie in Sillim. Amer. Journ. T. XXI. p. 289.

sche[1] ist bereits von dem elektrischen Schlage, dem Wesen desselben, den Bedingungen seiner Entstehung, den Gesetzen seiner Abänderungen gehandelt worden, der gegenwärtige Artikel kann also nur als eine Ergänzung vorzüglich in Hinsicht auf jene letztere betrachtet werden.

Will man die beiden Seiten einer geladenen Flasche oder Platte, oder eine Verbindung mehrerer derselben, eine Batterie, durch einen vollkommenen Leiter, z. B. durch einen gewöhnlichen *Auslader*[2], mit einander in Verbindung setzen, so ist es nicht möglich, die beiden Enden des Leiters zugleich in unmittelbare Berührung mit den beiden Seiten der geladenen Vorrichtung zu bringen; denn man mufs doch mit beiden Enden des Ausladers, oder wenn das eine Ende bereits an die eine, z. B. die äufsere Belegung, gesetzt worden ist, mit dem andern Ende gegen die andere Belegung oder den Leiter, der mit ihr in Verbindung steht, zufahren. Während dieses Hinfahrens findet ein Augenblick statt, in welchem das Ende des Ausladers von der Belegung oder den damit in Verbindung stehenden Leiter (dem Knopfe der Flasche u. s. w.) gerade so weit entfernt ist, als zum Durchbruche des Luftzwischenraumes, zur Entladung und damit zur Entstehung des el. Schlages erforderlich ist, welche Entfernung die *Schlagweite* genannt wird. In diesem Augenblicke erfolgt der Schlag, indem nun beide Elektricitäten, die sich vorher gebunden hatten, durch die leitende Verbindung in Beziehung auf die Richtung, nach welcher sie vorher sich anzogen und wechselseitig gebunden hielten, frei werden und sich in das natürliche Gleichgewicht mit einander zu setzen streben. Die leitende Verbindung ist also im Augenblicke der Entstehung des Schlages noch unterbrochen, weil die Elektricität der einen Belegung, von welcher aus die Ladung erfolgt und an welcher ein Theil der Elektricität frei geblieben und mit freier Spannung nach aufsen begabt ist, die Luft durchbricht und in den Leiter übergeht, worauf ein verhältnifsmäfsiger Theil der Elektr. der andern Belegung gleichfalls nach aufsen thätig wird, und so fort, welche successive Vorgänge sich scheinbar im Augenblicke der

---

1 S. Bd. 1. Abtheil. 2. S. 945. Bd. IV. S. 354. u. S. 599. Bd. VI. S. 156.

2 Vergl. Bd. I. S. 643.

Digitized by Google

Entladung und des el. Schlages zusammendrängen. War die leitende Verbindung an mehrern Stellen unterbrochen, so ist der Erfolg dieser, dafs bei jeder Unterbrechung ein Schlag entsteht, nur müssen, wie kaum zu erinnern nöthig ist, die Theile der Verbindung so nahe an einander seyn, dafs wirklich ein Durchbruch der Elektricitäten durch das nicht leitende Zwischenmittel erfolgen kann. Daher kommt es, dafs im Dunkeln die Glieder einer Kette, welche einen Theil der leitenden Verbindung ausmacht, leuchten, dafs, wenn in die leitende Verbindung Körper gebracht werden, die schlecht leiten und deren Structur fasericht ist, wie z. B. ein Ei oder selbst eine Reihe von mehrern Eiern, die sich berühren, eine elfenbeinerne Kugel, eine Citrone, ein Apfel, eine kleine Melone, durch einen Schlag, den man durch sie gehn läfst, indem man in letztern von beiden Seiten die Drähte des allgemeinen Ausladers hineinsteckt, durch die vielen Funken zwischen den Theilen derselben im Dunkeln leuchtend und durchsichtig scheinen; das Getöse aber, welches man oft bei Schlägen durch eine vielfach unterbrochene Verbindung hört, gleicht bisweilen einer Menge nach einander folgender Laute oder einem Rasseln, wie beim Blitzschlage im Grofsen.

Die *Schlagweite* selbst, in welcher die Entladung und damit der elektrische Schlag zu Stande kommt, kann im Allgemeinen durch die Formel $\frac{T}{L}$ ausgedrückt werden, wo T die freie Spannung derjenigen Belegung, von welcher die Ladung ausgegangen ist, also bei der gewöhnlichen Art zu laden die freie positive Spannung der innern Belegung, und L den Leitungswiderstand in der ganzen Strecke der leitenden Verbindung von einer Belegung zur andern bezeichnet. Es ist eine irrige Ansicht, wenn man sich vorstellt, dafs, weil sich die beiden Elektricitäten eines geladenen el. Körpers binden, der Wirkungskreis von keiner derselben so weit gehn könne, als bei der einfachen Elektricität eines isolirten Leiters, und daher die Schlagweite eines geladenen Körpers immer nur geringer und die Flecken weit kürzer, als die eines gewöhnlichen elektrisirten Leiters seyen. Die Elektricitäten, sofern sie sich wechselseitig binden und so lange sie sich binden, haben überall keinen Antheil an dem ersten Ausbruche der Explosion, die lediglich durch die freie Spannung der El. an der einen

Belegung bestimmt wird. Mit dieser freien Spannung nimmt auch bei sonst unveränderten Umständen in dem Verbindungskreise die Schlagweite zu, und wenn man das Verhältnifs der Kugeln, in welche sich der Zuleiter zur innern Belegung endigt, zu der Kugel des Ausladers, der mit der äufsern Belegung in Verbindung steht, der Gröfse nach eben so günstig macht, wie bei den Funkenziehern, wenn sie aus isolirten Leitern die längsten Funken hervorlocken sollen, so kann man auch einen sehr langen Entladungsschlag hervorlocken. Auch durchbricht der Funken in dem Verhältnisse eine längere Luftschicht, in welchem der Widerstand auf dem übrigen Wege von einer Belegung zur andern geringer ist, wie denn oft bei der Selbstentladung sehr lange Funken von dem Knopfe der Flasche bis durch den ganzen Luftzwischenraum und längs der mehrere Zolle in der Länge betragenden unbelegten Glasfläche aufsen herabfahren. Ebenso kann man den Entladungsfunken sehr verlängern, wenn man zwischen den Knopf der Flasche und die Kugel des Ausladers ein Lichtflamme bringt. Wenn dagegen der Widerstand auf dem Wege von einer Belegung zur andern, z. B. durch häufige Unterbrechung, sehr grofs ist, so findet sogar keine Entladung statt, auch wenn das eine Ende des Ausladers in unmittelbare Berührung mit dem Knopfe der Flasche gebracht wird, während das andere Ende nur in unvollkommene, leitende Verbindung mit der andern Belegung steht.

Der elektrische Schlag durchläuft die ausgedehntesten Verbindungsstrecken dem Scheine nach in einem Augenblicke. Die Versuche, aus welchen dieses Resultat hervorgeht, findet man unter dem Artikel: *Flasche, geladene*[1]. Indessen kann man die Entladung doch im strengern Sinne des Worts keine instantane nennen und durch gewisse Abänderungen in dem Verbindungskreise kann man die Entladung gleichsam für die Beobachtung retardiren und damit ihre Wirkungen modificiren. Dieses zeigen am deutlichsten die Versuche über die Entzündung des Schiefspulvers, die man am sichersten bewirkt, wenn man den Entladungsschlag vermittelst Einbringens einer nafsgemachten Schnur oder einer mit Wasser gefüllten Glasröhre retardirt[2]. Ein Gleiches deuten jene Versuche an, in de-

1 S. Bd. IV. S. 387.

2 Vergl. Bd. IV. S. 393. Bd. VI. S. 178.

nen mit Wasser gefüllte Glasröhren mit der gröfsten Heftigkeit zersprengt wurden, wenn die Drähte, die den Schlag durch das Wasser leiteten, nur in einer geringen Entfernung von einander sich befanden, die unversehrt blieben, wenn die Drähte weiter von einander entfernt wurden[1]. Beccaria liefs einen Schlag durch einen Tropfen Wasser gehn, der sich in der Mitte einer *soliden* Glaskugel von zwei Zoll Durchmesser zwischen zwei Drahtspitzen befand und die Kugel wurde mit grofser Heftigkeit zerschmettert.

Werden den beiden Seiten einer geladenen Vorrichtung mehrere leitende Verbindungen dargeboten, so nimmt der Schlag seinen Weg durch diejenige, in der er den geringsten Leitungswiderstand findet. Dieser Widerstand hängt nicht allein von der Länge des Weges, mit welcher er unter sonst gleichen Umständen allerdings in geradem Verhältnisse wächst, sondern auch von der besondern Beschaffenheit der Leiter, ihrem Umfange, der Art ihrer Verbindung mit einander u. s. w. ab, wofür die Gesetze im Artikel *Leiter* bereits ausführlich angegeben sind. Daher nimmt der Schlag nicht allemal den kürzesten Weg, sondern zieht den längern vor, wenn auf diesem eine Verbindung besserer Leiter sich darbietet. Nimmt man z. B. eine Kette in beide Hände und setzt die geladene Flasche so, dafs die äufsere Belegung und der Knopf von den Händen und der Kette zugleich berührt werden, so geht der Schlag fast ausschliefsend durch die Person, wenn die Kette schlaff hängt, dagegen fühlt die Person nach Mafsgabe der Stärke der Ladung nichts oder nur höchst wenig, wenn die Kette straff angezogen wird, weil alsdann die genauere Berührung ihrer Gelenke eine weit vollkommener leitende Verbindung begründet. Nimmt man aufser der Kette noch einen Draht in die Hände, so ist man noch vollkommener gegen jede Erschütterung gesichert. Doch mufs bei Entladung grofser Batterieen ein solcher Draht eine verhältnifsmäfsige Dicke haben, damit der Theil, welchen der menschliche Körper als Leiter übernimmt, ein verschwindender werde, indem derselbe sich nach dem Verhältnisse seines Leitungsvermögens gegen dasjenige des Drahts richtet. Der Widerstand auf dem Verbindungswege zwischen den beiden Belegungen ist überhaupt an denjenigen Stellen

1 G. XXIV. 337.

gröfser, wo die Leiter, welche den Uebergang vermitteln, einander nicht genau berühren, und noch gröfser, wenn der Uebergang durch Leiter von verschiedener Beschaffenheit geschieht und die Elektricität aus einem vollkommneren Leiter in einen schlechtern überzugehn gezwungen ist. Wird der Uebergang z. B. nur ein wenig durch Wasser unterbrochen, obwohl dieses auch ein Leiter ist, so schlägt beim Ausladen ein Funken in dasselbe über und die Gewalt einer Batterieentladung ist dann so heftig, dafs die stärksten Glasgefäfse dadurch zersprengt werden können, selbst wenn das Wasser an der einen Seite einen freien Ausgang hat. Ueberhaupt findet alles dasjenige, was unter dem Artikel *Blitz* über dessen Bahn gesagt worden ist, hier seine Anwendung.

Die *Stärke* oder *Gewalt* des Schlages richtet sich sowohl nach der Quantität von Elektricität, welche bei der Entladung frei gemacht wird, als auch nach der Intensität oder Spannung, welche die El. im Augenblicke der Entladung hat. Im Artikel: *Flasche, geladene,* ist näher auseinandergesetzt worden, dafs die Quantität in einem sehr zusammengesetzten Verhältnisse steht, indem solche von der Gröfse der geladenen Oberfläche, der Dicke des Glases der geladenen Flasche oder Platte, und von der Intensität der Ladung zugleich abhängt. Bei gleicher Intensität der Ladung und Dicke des Glases steht ohne Zweifel die Quantität der Elektricität in geradem Verhältnisse mit der Gröfse der belegten Oberfläche, sofern diese in der Art ihrer Ausdehnung übereinstimmt. Bei Verbindung von mehrern Flaschen von derselben Gestalt und gleicher Glasdicke nimmt also die Quantität der El., wenn jedesmal bis zu derselben Spannung geladen wird, mit der Zahl der Flaschen in ganz geradem, einfachem Verhältnisse zu, doch folgt hieraus nicht, dafs auch die davon abhängigen Wirkungen, wie z. B. Wärmeerzeugung, Schmelzen von Metalldrähten, in gleichem Verhältnisse zunehmen, weil dabei noch andere Factoren mitwirken.

Was den Einflufs der Dicke des belegten Glases betrifft, so ist unter dem Artikel: *Flasche, geladene,* bemerkt worden, dafs nach den Versuchen von Cavendish bei gleicher Gröfse der Belegung und gleicher Spannung die Quantität der Elektricität im umgekehrten Verhältnisse der Dicke des Glases zu stehn scheint, ein Verhältnifs, das jedoch durch das Gesetz

der Abnahme der anziehenden und repulsiven Wirkung der El. nach dem Quadrate der Entfernung eine Modification erfahren dürfte.

Was endlich die Intensität betrifft, so steht diese bei gleicher Dicke, Gröfse und Gestalt der belegten Oberfläche in geradem Verhältnisse der Dicke der el. Schichte und also der Quantität, und ist demnach ein Elektrometer gehörig regulirt worden, so kann man rückwärts aus der Gröfse der Intensität stets auch wieder einen Schlufs auf die Quantität machen.

Nach diesen vorläufigen allgemeinen Bemerkungen wollen wir nun die wichtigsten Erscheinungen, die den el. Schlag begleiten, so weit sie noch nicht an andern Orten in Betracht gezogen sind, so wie die davon abhängigen Wirkungen angeben.

Was zuerst die Stärke des Knalles des el. Schlages betrifft, so nimmt derselbe mit der Quantität und Intensität der Elektricität, sowie mit der Begünstigung der Leitung in dem übrigen Verbindungskreise, durch welchen sich die El. nach geschehenem Durchbruche zu bewegen hat, zu. Je dicker der Funke ist, und diese Dicke hängt wesentlich von der Quantität der sich entladenden El. ab, und je schneller er übergeht, um so heftiger ist der Knall, und bei grofsen Batterieen gleicht er bereits dem Knalle einer Pistole. Ein Liebhaber der Physik hat eine besondere Art der Entladung angegeben, wodurch der Knall des Schlages bis zur Stärke einer losgeschossenen Flinte gesteigert wird[1]. Man nimmt 4 bis 6 Platten von sehr dünnem Theeblei, am besten 5 Zoll ins Gevierte, schiebt sie in Falze in einem dazu verfertigten hölzernen Troge, die beiden mittelsten in einer Entfernung von 3 bis 5 Zoll, die übrigen 8 bis 10 Linien von einander. Die äufsern verbindet man durch sehr feine Bleistreifen, welche man in der Mitte der Platten mit Wachs fest klebt; sie müssen so schmal seyn, dafs die Batterie sie zu zerstieben vermag, die beiden innersten ebenso durch Stahldraht, der so stark seyn mufs, dafs er nur in Kugeln schmilzt. Die Kügelchen des geschmolzenen Eisendrahts werden rings umher geschleudert und durchbohren die beiden innern Platten gleich Sieben. Der Dampf, in welchen das Blei zerstiebt, scheint hierbei mit zur Verstärkung der

1 G. XXIV. 343.

Digitized by Google

Explosion beizutragen. Der Knall des el. Schlages wird auch sehr verstärkt, wenn er über der Oberfläche des Wassers und anderer leitender Flüssigkeiten hinfährt. Wird die Explosion retardirt, wie bei der Entzündung des Schiefspulvers, wenn man den Schlag durch eine Wassersäule gehn läfst, so ist der Knall mehr dumpf. Wie beim Blitze scheint die schnelle Zusammendrückung der im Wege befindlichen Luft durch den durchbrechenden Funken und das schnelle Nachdringen der umgebenden Luft in den entstandenen leeren Raum als die eigentliche Ursache dieses Knalles zu wirken. Beim Hinfahren über die Oberfläche des Wassers scheint die Verstärkung von der Erschütterung desselben mit abzuhängen.

Von der grofsen mechanischen Gewalt, welche der el. Schlag ausübt, haben wir oben[1] ein auffallendes Beispiel an jenem Buchsbaumcylinder gegeben, der durch den Schlag einer Batterie in einer solchen Ausdehnung zerrissen wurde, dafs man die zur Ueberwindung der Cohäsion erforderliche mechanische Kraft des Schlages auf 10040 Pfund berechnen konnte, und doch war es nur der Schlag der Taylorschen Batterie von 225 Quadratfufs Belegung. Sehr dicke Glasplatten werden durch den el. Schlag zersprengt, wenn man dieselben unter die Presse des allgemeinen Ausladers bringt, an ihrer untern Fläche einen schmalen Streif von Blattgold oder Blattsilber aufklebt und mit dem Ende desselben die Drähte des allgemeinen Ausladers in Verbindung bringt. Wie dicke Glasröhren gesprengt werden können, wenn man den Schlag durch eine kleine Wassersäule gehn läfst, ist schon oben bemerkt worden. Durch wiederholte Explosionen einer Batterie von 50 Quadratfufs Oberfläche hat man Röhren von verschiedenen Metallen, selbst von Stahl, Bronze und Kupfer, von einer Dicke der Wände von mehrern Linien, die im Lichten von einigen Linien bis anderthalb Zoll variirten, dadurch zerrissen, dafs man sie mit Wasser füllte und durch einen sehr dünnen Bleidraht, der an einer Nadel aufgehängt war, die Explosion gehn liefs, wodurch derselbe nicht blofs geschmolzen, sondern in Dampf verwandelt wurde, der durch augenblickliche Zusammendrückung des Wassers jene Gewalt auf die Wände ausübte.

1 S. *Batterie, el.* Bd. I. S. 948.
2 G. XXIV. 844.

Digitized by Google

Der el. Schlag äufsert stets da die gröfste Gewalt, wo er auf seinem Wege den meisten Widerstand findet, also bei seinem Durchgange durch unvollkommene Leiter oder Isolatoren und bei seinem Uebergange auf dieselben, wenn diese nicht etwa einen so grofsen Widerstand entgegensetzen, dafs die Entladung gänzlich dadurch gehindert wird. Der Schlag zerschlägt diese Körper, die ihn auf seinem Wege unterbrechen und zerstreut ihre Stücke bisweilen nach allen Richtungen und auf eine solche Art, als ob die Kraft aus dem Mittelpuncte eines jeden dazwischen gesetzten Körpers gekommen wäre. Dieses ist besonders auffallend bei einem Spiele Karten, durch welches man starke Schläge gehn läfst, wo alle Karten durchbohrt werden, das Loch in jeder Karte aber auf beiden Seiten einen erhabenen Wulst hat, gerade so als ob sich die Explosion aus dem Innern eines jeden Blattes nach allen Richtungen verbreitete. Eben so augenscheinlich ist diese Art der Wirkung bei der Selbstentladung einer überladenen Flasche durch die Glaswandung selbst, wo sich in der Mitte der Glasdicke ein ziemlich feines Loch zeigt, von welchem aus trichterförmig nach beiden Seiten sich erweiternd das Glas gleichsam zerrieben und zermalmt ist; doch in keinem gröfsern Umfange als etwa einer bis höchstens zwei Linien im Durchmesser. Singer meint, die unmittelbare Folge des Durchganges einer el. Entladung durch eine Substanz bestehe in einer Ausdehnung oder Entfernung der direct in ihrem Wege befindlichen Partikelchen und in einer daraus folgenden Zusammendrückung derer, die sie umgeben, so dafs gewöhnlich das Resultat einer elektrischen Explosion der Wirkung einer ausdehnenden Kraft gleiche. Indefs scheint es nicht nothwendig zu seyn, eine solche Ausdehnung der Theilchen der Körper selbst anzunehmen, abgesehn von derjenigen, welche von der Elektricität abhängt, sofern sie Wärme erzeugt, sondern die mechanischen Wirkungen einer Explosion lassen sich vielleicht besser begreifen, wenn man die eigene Repulsivkraft der Elektricität als die nächste Ursache ansieht, vermöge welcher die derselben im Wege stehenden Theilchen der Körper nach allen Seiten fortgestofsen werden. Man wird selbst geneigt anzunehmen, dafs hierbei die Elektricität selbst in Masse auftritt, wenn man den beengten Weg des el. Funkens berücksichtigt, und wie unbedeutend diese Masse auch

seyn mag, so lassen sich die grofsen mechanischen Wirkungen dennoch durch die aufserordentliche Geschwindigkeit der Bewegung füglich erklären.

Die chemischen Wirkungen des elektr. Schlages werden theils durch die Beschaffenheit der Körper, ob sie mehr oder weniger vollkommene Leiter, Halbleiter oder Isolatoren sind, theils vorzüglich durch ihre chemische Natur mannichfaltig modificirt, haben aber im Ganzen ein gröfseres Interesse für die Chemie als für die Physik.

Ein starker Schlag, durch einen dünnen Streifen Metall oder einen feinen Metalldraht geleitet, macht denselben augenblicklich glühend, oder schmelzt ihn gar, und verwandelt ihn in gröfsere oder kleinere Kügelchen, die nach allen Seiten zerstreut werden oder zerstreut das Metall gänzlich als einen Rauch. Der jedesmalige Erfolg hängt theils von der Beschaffenheit des Metalls, der Länge und Dicke des Drahtes, theils von der Stärke des Entladungsschlages ab. Man spannt, um solche Versuche anzustellen, die Metalldrähte zwischen die beiden Drähte des allgemeinen Ausladers[1], die zu diesem Behuf an ihren Enden mit Löchern versehen sind, durch welche man die Drähte hindurchzieht und sie mittelst dieser Drähte, die in ihren Hülsen verschoben werden können, anspannt. Aus der ersten Reihe von Versuchen, welche van Marum mit einer Batterie von 225 Quadratfufs Belegung anstellte[2], folgte schon, dafs sich die Schmelzbarkeit der Metalle durch die Elektricität gar nicht wie die Schmelzbarkeit derselben durch das gewöhnliche Feuer verhalte, indem sie vielmehr von ihrem verschiedenen Leitungsvermögen für Elektricität abhängt, nach welchem sich die Hitze richtet, welche beim Durchgange des Schlags durch dieselben erzeugt wird. Je geringer dieses Leitungsvermögen, oder je gröfser der Leitungswiderstand, um so gröfser ist diese Hitze und um so schmelzbarer erscheint also das Metall bei sonst gleichen Umständen der Länge und des Durchmessers der Drähte. Die ausführlichere Erörterung dieses Verhältnisses findet sich bereits unter dem Artikel *Leiter*[3]. Die Verhältnisse der Längen von verschiedenen Metalldrähten von gleichem Durchmesser, welche

1 Vergl. Bd. I. S. 645.
2 Première Continuation. Haarlem 1787. p. 16.
3 S. Bd. VI. S. 157 bis 162.

Digitized by Google

durch gleiche Schläge der Batterie geschmolzen wurden, werden durch nachfolgende Zahlen angegeben:

Zinn	Blei	Gold	Eisen	Messing	Kupfer	Silber
12,00	11,96	44,82	40,54	40,87	14,88	11,62.

Von diesen Metallen konnten Eisen, Zinn und Kupfer zu Kügelchen geschmolzen werden, die auf 30 Fufs und darüber zerstreut wurden und die Zinnkügelchen erhielten sich 8 bis 10 Secunden lang rothglühend. Am weitesten sind wohl diese Schmelzversuche der Metalle in einer zweiten Reihe von Versuchen durch VAN MARUM mit seiner Riesenbatterie von 550 Quadratfufs Belegung getrieben worden[1]. Während die Batterie von 225 Quadratfufs Belegung, nach BROOCKS Elektrometer mit $24\frac{1}{2}$ Gran geladen, durch die Entladung 10 Zoll Eisendraht No. 1. von $\frac{1}{70}$ Zoll Durchmesser schmolz und die glühenden Kügelchen weit umher zerstreute, schmolz die Batterie von 550 Quadratfufs Belegung bis zu derselben Spannung geladen $24\frac{1}{2}$ Zoll eben dieses Drahtes in eben solche Kügelchen. Als dieselbe Ladung von $24\frac{1}{2}$ Gr. auf 36 Zoll dieses Drahtes versucht wurde, so erglühte er in seiner ganzen Länge, wobei die Hälfte desselben ganz blau wurde, der übrige Theil an seiner Oberfläche schwach oxydirt zu seyn schien. Zugleich war der Draht in seiner ganzen Länge mit einem auch am hellen Tage lebhaftem Lichte umgeben, das in der Dunkelheit mehr als einen Zoll im Durchmesser zu haben schien.

Vom Eisendraht No. 16, welcher $\frac{1}{140}$ Zoll im Durchmesser hat, wurden durch dieselbe Ladung sogar 104 Fufs in unzählige glühende Kügelchen verwandelt und weit umher zerstreut. Von Eisendraht No. 11, von der Dicke von $\frac{1}{130}$ Zoll wurden sehr leicht 60 Fufs durch eine Ladung von 24 Gr. geschmolzen.

Nach VAN MARUMS Versuchen würde die Länge der geschmolzenen Drähte im geraden Verhältnisse mit der Menge der sich durch den Draht entladenden Elektricität zunehmen, wenn die Intensität der Ladung unverändert bleibt, so dafs also zwei Flaschen von gleicher Oberfläche, bis zu gleicher Spannung geladen, eine doppelt so grofse Länge von dem-

---

1 Secoude Continuation etc. Haarlem 1795. p. 194. und daraus in G. I. 68.

selben Drahte schmelzen sollen, als eine Flasche, und sofort im geraden einfachen Verhältnisse mit der Zahl der Flaschen, oder mit der Gröfse der Belegung.

Diesem Resultate widersprechen Cuthbertsons Versuche[1], so wie auch diejenigen von G. J. Singer[2]. Um die Intensität der Ladung genau bestimmen und sich von der vollkommenen Gleichheit derselben im Augenblicke der Entladung in den verschiedenen Versuchen überzeugen zu können, hat Cuthbertson ein eigenes *Ausladeelektrometer* oder *Balancirelektrometer* erfunden, das nach dem Principe des Elektrometers von Broock[3] eingerichtet ist, bei welchem eine mit ungleichem Gewichte sich herabsenkende Kugel durch die Elektricität der inneren Belegung bei einem hinlänglichen, aber wenn das aufgelegte Gewicht nicht verändert wird, bei einem stets gleichen Grade der Spannung so weit abgestofsen wird, dafs eine Kugel am entgegengesetzten Hebelarme auf einen Pfeiler herabsinkt, und hierdurch die Verbindung mit der äufsern Belegung herstellt.

In den Versuchen, welche Cuthbertson über das Schmelzen der Drähte anstellte, wurden diese Drähte vermittelst kleiner Zangen zwischen diese Säule und den Leiter nach der äufsern Belegung in den Strom der El. gebracht, wobei also die Spannungen oder die Stärke der Ladungen für zusammengehörige Versuche einander genau gleich oder unter sich vergleichbar waren. Aus solchen Versuchen glaubte Cuthbertson den Schlufs ziehn zu können, dafs die schmelzende Wirkung auf Metalldrähte wie das *Quadrat der Quantität* der El. wachse, die sich auf einmal hiedurch entladet, indem zwei Flaschen zu irgend einem Grade geladen, einen Draht schmelzen, der viermal länger war als der, den eine von ihnen schmolz, und eben so wurde diese Wirkung vervierfacht, als er einer Flasche die doppelte Ladung gab, welche Versuche zugleich zeigten, dafs irgend eine gegebene Quantität der El. eine und dieselbe Drahtlänge schmelzt, sie mag auf zwei oder nur auf einer Flasche gesammelt seyn, die nicht gröfser als

---

1 G. III. 1.

2 Elemente der Elektricität und Elektrochemie übers. von Müller. Breslau 1819. S. 115. fg.

3 Vergl. *Elektrometer* Bd. III. S. 675.

jede der ersten ist. CUTHBERTSON stellte diese Versuche so an, dafs er z. B. erst zwei Flaschen von gleicher Oberfläche, jede von 168 Quadratzoll, mit dem Elektrometer, das mit 15 Grammen beschwert war, in Verbindung setzte, und da die Kugel H anfing, sich abwärts zu bewegen, die eine Flasche schnell entfernte. So konnte sich nur die eine Flasche entladen, welche genau zwei Zoll Draht schmolz, von welchem beide Flaschen unter denselben Umständen acht Zoll schmolzen. In diesem Versuche hatte CUTHBERTSON feinen Uhrfederndraht angewandt. Da er bei Wiederholung derselben keine ganz übereinstimmende Resultate erhielt und den Grund davon in dem Ausströmen der El. aus den scharfen Rändern der platten Drähte suchte, wie sie zu den Federn, welche die Unruhe in den Uhren treiben, gebraucht werden, so unterwarf er gewöhnliche Stahldrähte diesen Versuchen. Von einem solchen, dessen Durchmesser $\frac{1}{150}$ Zoll betrug, wurden durch drei der obigen Flaschen 6 Zoll geschmolzen, dagegen von 2 nur zwei Zoll. Vier Flaschen schmolzen 8 und 8½ Zoll, 9 Z. vermochte derselbe Schlag nur in ihrer ganzen Länge rothglühend zu machen. Vierzehn gleiche Flaschen schmolzen von einem Drahte von $\frac{1}{100}$ Zoll 8 Zoll, sieben derselben nur zwei Zoll. Ueber den Einfluſs der verschiedenen Spannung bei gleicher Oberfläche stellte CUTHBERTSON nur zwei Versuche an. Eine Flasche wie die obige, die bei einer Belastung des Elektrometers mit 15 Gr. sich entlud, schmolz 2 Zoll Uhrfederndraht, bei einer Belastung von 30 Gr. schmolz sie dagegen 8 Zoll desselben Drahtes. In Rücksicht auf die Abweichung dieser Resultate von denen VAN MARUM's bemerkt CUTHBERTSON, dafs letzterer zu seiner irrigen Folgerung dadurch verleitet wurde, dafs theils sein Ausladeelektrometer, das er bei jenen Versuchen gebrauchte, nicht die erforderliche Genauigkeit besessen, theils dadurch, dafs VAN MARUM nicht die sorgfältigste Rücksicht auf Gleichheit der Effecte genommen habe, in welcher Hinsicht eben eintretendes vollständiges Schmelzen den angemessensten Vergleichungspunct abgebe. In Rücksicht auf jene durch CUTHBERTSON's Versuche ausgemittelte Gesetze macht BIOT[1] folgende Bemerkungen.

---

1 Lehrbuch der Experimentalphysik, übers. von FECHNER. 1829. II. Bd. S. 268.

Digitized by Google

Zuvörderst könne es auffallend erscheinen, dafs es gleichgültig für die Wirkung auf den Draht sey, ob dieselbe Quantität der El. sich auf der einfachen oder doppelten Fläche angehäuft findet, da sie doch im ersten Falle eine doppelt so grofse Intensität hat, oder eine Schichte von der doppelten Dicke bildet. Allein man mufs erwägen, dafs beim Durchgange durch den Draht sich beide (gleiche) Quantitäten El., sowohl die auf der einfachen, als auch auf der doppelten Fläche angesammelte, zu einer *gleichen Intensität* concentriren, mithin, sofern die Wirkung von der Intensität abhängt, auch gleiche Wirkung äufsern müssen. Dafs aber die Wirkung auf den Draht nicht im einfachen, sondern im quadratischen Verhältnisse dieser Intensität wächst, läfst sich sehr leicht unter der Voraussetzung begreifen, dafs die El. eine Flüssigkeit ist, deren Wirkung bei ihrer Bewegung im zusammengesetzten Verhältnisse ihrer Masse und Geschwindigkeit steht. Da nun eine El. von der doppelten Intensität wegen verdoppelter Repulsivkraft zwischen ihren Theilchen auch von selbst eine doppelte Geschwindigkeit erlangen mufs, so erklärt sich hieraus jenes quadratische Verhältnifs von selbst.

Dafs dieses quadratische Verhältnifs für gröfsere Drahtlängen, wie Singer gefunden hat, nicht mehr genau zutrifft, findet darin seine Erklärung, dafs die Drähte der Elektr. bei ihrem Durchgange einen Widerstand entgegensetzen, der mit der Länge der Drähte zunimmt. Dieser Widerstand, der bei geringen Drahtlängen gegen eine starke Ladung nicht sehr in Betracht zu kommen scheint, kann doch seinen Einfluſs sehr merklich ändern, wenn diese Längen zunehmen und dadurch jenes genaue Verhältnifs beeinträchtigen.

Gegen die erstere Behauptung müssen wir jedoch erinnern, dafs die Menge der sich entladenden Elektricität nicht auf einmal in dem Drahte enthalten ist, und sich also auch nicht bei doppelter Quantität zu einer doppelten Intensität concentriren kann, indem jede Entladung als ein successiver Proceſs zu betrachten ist, in welchem die Intensität der sich in solchen Metalldrähten ausgleichenden El. wesentlich von ihrer ursprünglichen Intensität abhängt, und wir zweifeln daher, dafs sich das Gesetz, dafs sich die Länge des geschmolzenen Drahtes bei gleicher Intensität wie das Quadrat der Belegung verhalte, bei mannichfaltig abgeänderten Versuchen bestätigen

Digitized by Google

werde. Sind die Metalldrähte, durch welche man den elektr. Schlag durchleitet, schlaff, so werden sie dadurch, wenn die Hitze nicht bis zum Schmelzen geht, in die Dicke ausgedehnt und dabei verkürzt. So verkürzte VAN MARUM einen Eisendraht von 18 Zoll Länge und $\frac{1}{3\frac{1}{3}}$ Zoll Dicke um mehr als $\frac{1}{8}$ Zoll, indem er nur einen einzigen Schlag hindurch leitete. Aehnliche Resultate erhielt NAIRNE[1]. Dagegen findet man, dafs durch Gewichte gespannte Drähte durch den el. Schlag sich vielmehr verlängern.

Eine interessante Beobachtung VAN MARUM's bei diesen Versuchen über Glühen und Schmelzen von Eisendrähten ist, dafs wenn, wie sich dieses öfters ereignet, nur ein Theil derselben geschmolzen wird, dieses nur mit demjenigen Theile geschieht, der mit den innern (positiven) Belegen der Batterie in Verbindung steht, während der nach dem negativen Belege hingerichtete ungeschmolzen bleibt.

Diese Erfahrung schliefst sich unmittelbar an eine bereits erwähnte[2] an, welcher zufolge der positive Pol einer Volta'schen Säule in Flüssigkeiten auf seiner Seite eine gröfsere Erhöhung der Temperatur hervorbringt, als der negative Pol auf seiner Seite, zum Beweise, dafs in den oben angeführten Versuchen VAN MARUM's es nicht etwa die freie Spannung auf der innern Belegung war, welche der positiven El. das Uebergewicht in der Wärmeerzeugung ertheilte.

Wird das Metall, durch welches man den Schlag durchgehn lassen will, als Streifen oder Draht zwischen zwei Glasplatten eingeschlossen, so treibt der Schlag das geschmolzene Metall in das Glas und vereinigt es so fest mit demselben, dafs man es nachher nicht wieder davon abtrennen kann, ohne einen Theil des Glases mit hinwegzunehmen. Auf diese Weise lassen sich Streifen von Blattgold mit schöner Purpurfarbe in Glas einschmelzen, wenn man die Glasstreifen, zwischen welchen sich dasselbe befindet, unter die Presse des allgemeinen Ausladers bringt. Doch zerspringen dieselben auch leicht, wenn der Schlag zu stark oder der Streifen Gold zu schmal ist, und also eine zu unvollkommene Leitung gewährt.

Sind die nöthigen Bedingungen zur Oxydation vorhanden

---

1 Lichtenbergs Magazin I. 2tes St. S. 22.

2 S. Art. *Galvanismus* Bd. IV. S. 930 u. 931.

Digitized by Google

und hat der elektrische Schlag eine hinlängliche Stärke, so ist mit der Schmelzung des Metalls häufig auch Oxydation verbunden, und sehr dünne Drähte verwandeln sich auch gänzlich in Oxyd. Um die Verschluckung des Sauerstoffs hierbei augenscheinlich zu machen, kann man den Versuch so anstellen, dafs man die Metalldrähte in einen Glascylinder zwischen zwei Haken ausspannt. Wenn dieser Cylinder dann mit einem Hahn versehn ist, so kann man ihn mit einer beliebigen Gasart über der Wasser- oder Quecksilberwanne füllen. Bei geschlossenem Hahn läfst man die Explosion durchgehn, und öffnet ihn nach derselben über Wasser oder Quecksilber, um die statt gehabte Luft-Absorption zu untersuchen. Cuthbertson[1] hat seinen Glasrecipienten mit helmförmigen Röhren, wovon die eine Wasser, die andere Quecksilber enthielt, versehn, die gleichsam als Waage dienten. Durch einen Hahn waren sie vom Recipienten abgeschlossen. Nach geschehener Explosion wurde der Hahn geöffnet, und aus dem Steigen des Wassers oder Quecksilbers in dem Schenkel, der sich nach dem Innern des Recipienten öffnete, sowie aus der Höhe dieses Steigens die stattgehabte Absorption und der Grad derselben erkannt. Versuche dieser Art haben vorzüglich Deimann und Paets van Troostwyck[2] gemeinschaftlich und Cuthbertson[3] angestellt. Van Marum wollten sie in solchen Röhren nicht gelingen, da ihm dieselben stets zersprangen. In Rücksicht auf die edlen Metalle stimmen die Resultate der beiderseitigen Versuche nicht ganz überein. Nach den ersteren wurden Drähte von Gold, Platin und Silber dem Schlage einer starken Batterie von 135 Quadratfufs Belegung auch im reinen Sauerstoffgase ausgesetzt, zwar in einen Dunst verwandelt, und der feine Staub, zu welchem sich derselbe verdichtete, hatte zwar alles metallische Ansehn verloren, der des Goldes erschien purpurfarben, der des Platin's lichtbraun, der des Silbers dunkelgrün oder olivenfarbig, es fand aber keine Spur von Luftverschluckung statt, und die ganze Veränderung bestand demnach blofs in einer höchst feinen Zer-

---

1 G. XI. 400.

2 Beschreibung einer Elektrisirmaschine u. s. w. Aus dem Holländischen. Leipzig 1790.

3 A. a. O.

Digitized by Google

theilung dieser edlen Metalle. Vermittelst seiner Riesenbatterie verwandelte VAN MARUM einen Platindraht von $\frac{1}{715}$ Zoll Dicke in einen sehr feinen Staub, welcher ähnliche Zeichnungen auf dem Papiere, wie Eisen bildete, und dem Eisenkalke ganz ähnlich war[1]. Vermittelst einer Batterie von blofs 34 Quadratfufs Belegung wollte CUTHBERTSON eine wirkliche Oxydation dieser Metalle erhalten haben. Feiner Silberdraht von $\frac{1}{1150}$ Zoll Durchmesser brannte mit einer grünlichen Flamme und zerstiebte in einen schwarzen, unfühlbaren Staub. Golddraht von $\frac{1}{1715}$ Zoll Durchmesser zerstiebte in einen unfühlbaren Staub von dunkelbrauner Purpurfarbe, Platindraht endlich von $\frac{1}{1150}$ Zoll Durchmesser in einen unfühlbaren schwarzen Staub; da jedoch in allen drei Versuchen das Quecksilber im andern Schenkel der Heberröhre nur wenig stieg, so möchte ich vermuthen, dafs die Metalle nicht in ihrer gröfsten Reinheit angewandt worden waren und dafs die geringe Luftabsorption von dem beigemischten edlen Metalle herrührte. Vom Blei, Zinn, Eisen, Kupfer und Zink ist es durch die Versuche obengenannter Physiker aufser allen Zweifel gesetzt, dafs sie sich in Oxyd verwandeln und Sauerstoff verschlucken. Auch Wismuth und Spiefsglanz wurden oxydirt, und der dicke Rauch, den sie dabei haben, setzte sich als weifse Blumen an darüber gehaltenes Papier an. Dagegen gelang es VAN MARUM nicht, auch durch die stärksten Schläge Zinn oder Zink, oder Silber-Amalgam, oder Quecksilber, letzteres in Glasröhren eingeschlossen, zu oxydiren. Läfst man durch die Metalldrähte in einer geringen Entfernung von etwa $\frac{1}{8}$ Zoll über Papier ausgespannt die Schläge einer Batterie gehn, so verwandelt sich zwar ein grofser Theil in einen dicken Rauch, ein Theil des gebildeten Oxyds legt sich aber in einer schönen Zeichnung von verschiedener Farbe nach Beschaffenheit des angewandten Metalls auf dem untergelegten Papiere an. VAN MARUM hat in seiner ersten Fortsetzung[2] eine Reihe von colorirten Abbildungen der durch Gold, Silber, Kupfer, Messing, Eisen, Blei, Zinn und eine Legirung von Blei und Zinn auf dem Papiere hinterlassenen Zeichnungen des daraus abgesetzten Staubes gegeben, welche eine sehr richtige Anschauung

---

1 G. I. 257.

2 Première Continuation. Haarlem 1787. p. 64.

Digitized by Google

dieser interessanten Producte des el. Schlages gewähren. Alle charakterisiren sich durch eine geflammte Ausbreitung nach beiden Seiten, die sich beim Eisen noch in feine Fäden und Flocken verliert, während beim Zinn die nach beiden Seiten weit zerstreuten glühenden Kügelchen auf dem Papiere Flecken wie Perlenschnüre hinterlassen haben. Auch unter Wasser bewirkte VAN MARUM die Oxydation des Blei's und Eisens, wobei sich das Oxyd als eine Wolke erhob, und einige Luftblasen aus dem Wasser aufstiegen, die sich als brennbares Gas verhielten. Hier fand also eine Wasserzersetzung statt. FUSINIERI's[1] Versuche, welche die Verflüchtigung der Metalle durch den el. Schlag betreffen, würden von einem hohen Interesse seyn, wenn man ihnen vollen Glauben schenken könnte. Er will nämlich beobachtet haben, dafs, wenn er eine wohl polirte Silberscheibe in gleiche Enfernung zwischen zwei Knöpfe brachte, der eine von Gold, welcher mit dem Innern der Batterie, der andere von Silber, welcher mit der äufsern Belegung in Verbindung stand und die Entladung bewirkte, so dafs die El. ihren Weg von dem goldenen Knopfe durch die Silberscheibe nach dem silbernen Knopfe nehmen mufste, auf der Silberscheibe und zwar auf den beiden einander entgegengesetzten Flächen, sich Kreise von Gold zeigten, und zwar schien das hier übergeführte Gold eine gewisse Flüchtigkeit behalten zu haben, denn diese kreisförmigen Flecken von Gold verschwanden nach einiger Zeit. Auch andere Metalle will FUSINIERI auf diese Weise durch die Elektricität verflüchtigt haben, die sie gleichsam durch die Masse der Leiter durchgeführt und auf ihrer Oberfläche abgesetzt haben müfste, und auch die Flecken dieser Metalle sollen nach einiger Zeit wieder verschwunden seyn.

Ich habe diese Versuche mit Flaschen von 4 bis 8 Quadratfufs Belegung, die zu einem hohen Grade von Spannung geladen waren, nach der Anweisung FUSINIERI's wiederholt, aber nichts wahrnehmen können, was eine solche Ueberführung des Goldes verrathen hätte, und glaube daher, dafs hierbei eine Täuschung zum Grunde lag. Indem nämlich der starke Schlag auf die Scheibe von Silber oder von wohl polirtem Kupfer, die ich gleichfalls anwendete und auf welche

1 POUILLET Eléments de Physique. T. II. p. 598. Paris 1827.

das Gold sich absetzen soll, überschlägt, erzeugen sich gefärbte Kreise, welche Fusinieri für Flecken des übergeführten Metalls ansehn konnte. In einigen Fällen entstanden auf der Kupferplatte strahlenförmige positive Lichtenberg'sche Figuren.

An diese Versuche reihen sich einigermafsen die von Priestley[1] zuerst angestellten Versuche über die Entstehung von concentrischen Ringen, die die schönsten prismatischen Farben zeigen, wenn man Batterieschläge aus einer feinen Spitze, z. B. eine Nadel, auf eine ebene Metallscheibe überschlagen läfst. Diese Farben entstehn um so schneller, je kleiner der Abstand der Spitze von der Metallfläche ist; auch werden die Ringe um so enger zusammengedrängt erscheinen, während sie im Gegentheil einen um so gröfsern Raum einnehmen, je gröfser der Abstand der Spitze ist. Je feiner und schärfer die Spitze ist, desto zahlreicher sind die Ringe; eine stumpfe Spitze bringt viel breitere Ringe hervor, aber in geringerer Anzahl, und die Farben entwickeln sich später. Bei der Musterplatte von Stahl, welche Priestley der Königl. Societät vorzeigte, betrug der Abstand der feinen Nadelspitze nur $\frac{3}{11}$ Zoll, die Batterie hatte 21 Quadratfufs Belegung, war aber zu keiner hohen Spannung geladen. Das Erste, was man wahrnimmt, ist eine dunkelrothe Färbung, welche den Centraltheil umgiebt, bald darauf, gewöhnlich nach 4 bis 5 Entladungen, fängt man an, eine kreisförmige Stelle von ausgezeichnet blafsrother Färbung zu unterscheiden; diese Stelle dehnt sich während der ganzen Reihe von Schlägen nur wenig aus, aber sie wird nach und nach mit Ringen von allen Farben angefüllt und ihre äufseren Ränder werden bräunlich. Nach einigen neuen Entladungen fängt ein zweiter ringförmiger Raum im Umfange des erstern an sichtbar zu werden, der sich allmälig eben so färbt. Die deutlichsten Farbentinten zeigen sich anfänglich am Umfange des Centrums, sie rücken in dem Mafse, als die Schläge vielfältiger werden, nach dem Kreisumfange des ersten Raumes, um neuen Farben Platz zu machen. Nach 30 bis 40 Entladungen bemerkt man gewöhn-

1 Philos. Transactions. Vol. LVIII. (1768) S. 68 — 74. im Auszuge in den Ann. de Chimie et de Physique. Tome XXXIV. S. 292. übers. in Schweigger's Jahrb. 1827. T. II. p. 166. Vgl. damit Nobili's Bemerkungen ebend. 1828. T. III. p. 69.

lich drei deutliche Ringe, die zusammen einen Durchmesser von ¼ Zoll auf Priestley's Musterplatten hatten. Fährt man fort, neue Schläge darauf wirken zu lassen, so verlieren die Farbenringe an Schönheit und Farbenreinheit. Das Rothe herrscht vor und macht die andern Farben durch seine Beimischung mifsfarbig. Alle Erscheinungen verhalten sich gleichmäfsig, wenn die positive Elektricität auch in entgegengesetzter Richtung von der Scheibe nach der Spitze übergeht. Priestley will die Ringe gleich gut auf Gold, Silber, Kupfer, Bronze, Eisen und Blei erhalten haben.

Nobili, der eine Batterie von ungefähr 14 Quadratfufs Belegung anwendete, beobachtete die Farbenringe in einem Raume von 2 bis 3 Linien Durchmesser. Der Mittelpunct war beinahe ausgehöhlt und durchaus mit Puncten und Metallkörnern übersäet, so dafs man eine deutliche Schmelzung des Metalls daran erkennen konnte; die Farbenringe umgeben die kleine Centralhöhlung, aber nur auf dem Kupfer waren sie deutlich und wirklich farbenspielend, demnächst auf dem Stahle, auf dem Silber und Platin waren sie aber nur sehr schwach gefärbt.

In den Versuchen, welche ich selbst mit einer Batterie von 16 Quadratfufs Belegung anstellte, zeigte sich nach 60 Schlägen der Raum von reichlich drei Linien mit Zonen bezeichnet, in der Mitte, der feinen Spitze gegenüber eine kleine Höhlung fast wie ein Punct, um diese ein brauner Fleck wie von Kupferoxyd, dann ein Ring nur von sehr schwachen prismatischen Farben, der von einem schmalen Ringe von sehr schönen prismatischen Farben von innen nach aufsen blau, purpur, orange und gelb eingeschlossen war, dann ein Ring von reinerem Metallglanze, den ein etwas breiterer Ring mit sehr schwachen prismatischen Farben umschlofs.

Priestley verglich diese Erscheinungen mit den Farben, welche die Hitze auf dem Stahle (und auch auf dem Kupfer) hervorbringt. Es dünkt ihm wahrscheinlich, dafs sich hierbei Schichten von verschiedener Dicke bilden, von denen eine jede die Farbe zurückwirft, welche ihr eigenthümlich ist, dafs endlich die Dicke dieser Schichten fortwährend sich verändert, nach Mafsgabe der vervielfachten Anzahl der Schläge. Diese Zurückführung der prismatischen Farbenringe auf die Farben dünner Blättchen ist ohne Zweifel die richtige Erklä-

Digitized by Google

rung. Es verdient aber dabei noch eine besondere Beachtung, dafs wenigstens auf den von mir dargestellten Platten Ringe von unverändertem Metalle mit prismatischen Ringen abwechselnd sich zeigten. Es wiederholen sich also hier ähnliche Erscheinungen, wie bei den Lichtenberg'schen Figuren, abwechselnde positive und negative Zonen.

Wie die Wärme und das Licht nach Verschiedenheit der Intensität ihrer Wirksamkeit und sonstiger Umstände bald Oxydation, und dann auch wieder Desoxydation derselben verbrennlichen Körper (Metalle) bewirken, so bewirkt auch ihrerseits der elektrische Schlag unter veränderten Umständen die Wiederherstellung, Desoxydation derjenigen Metalle, von denen wir oben gesehn haben, dafs ihre Oxydation durch die elektrische Entladung herbeigeführt werde. Die ersten Versuche hierüber stellte Beccaria schon im Jahre 1758 an[1]. Der Graf von Milly trieb diese Versuche noch weiter und wollte durch el. Schläge die Mennige, das Bleiweifs, die Oxyde des Zinns, Zinks und Wismuths reducirt haben[2]. Brisson und Cadet bestritten die Richtigkeit dieser Resultate und behaupteten, die vermeintlich reducirten Metalle seyen nichts anders, als die geschmolzenen metallischen Zuleiter gewesen[3], van Marum hat jedoch durch mit aller Sorgfalt angestellte Versuche die Richtigkeit der Resultate Milly's aufser Zweifel gesetzt[4]. Er brachte die Metalloxyde auf eine Glasplatte zwischen zwei Glasstreifen in einer Strecke von zwei Zollen und bedeckte sie mit einer Glasplatte. Um der Einwendung zu begegnen, dafs das vermeintlich reducirte Metall eigentlich nur das geschmolzene Metall des Zuleiters sey, bediente er sich als Zuleiter der Cylinder von nafsgemachter Leinwand. Das Ganze wurde unter die Presse gebracht, das bedeckende Glas wurde öfters in Stücke zerbrochen. Sowohl in dem rückständigen Oxyde, als auch an den Glasstreifen war das reducirte Metall auf das Deutlichste auch mit den blofsen Augen zu erkennen. Die Batterie, welcher sich van Marum bediente, hatte 225 Quadratschuh Belegung. Es ge-

1 Dell' Elettricismo. Turin 1758. p. 282.

2 Journal de Physique Tome IV. p. 146.

3 Mém. de l'Acad. royale des Sciences. Pour 1775. p. 243.

4 Description d'une très grande Machine électrique. Haarlem. 1785. p. 184.

lang ihm Mennige, Bleiweifs, die Oxyde des Zinks, Zinns, Spiefsglanzes und Eisens wieder herzustellen. Die Reduction des Eisenoxyds war indessen nur spärlich, und nur das metallischglänzende Ansehn, welches die zerbrochenen Glasstücke angenommen hatten, betrachtete VAN MARUM als einen Beweis dafür. Wahrscheinlich war aber die Reduction nicht weiter als bis zum Oxydul gegangen, welches gleichfalls metallisches Ansehn zeigt. Später versuchte VAN MARUM [1], die Wirkung des blofsen Funkens aus dem Conductor seiner mächtigen Maschine. Er füllte zu diesem Ende Glasröhren, welche 14 □Zoll hoch, 0,3 bis 0,4 □Zoll weit waren, deren eines Ende zugeschmolzen und mit einem Platindrahte versehn war, mit dem Oxyde, durch das andere offene Ende wurde ein zweiter Platindraht so weit hineingeführt, dafs er von dem eingeschmolzenen Drahte nur 3 Zoll entfernt war, so dafs in diesem Zwischenraume die Funken durch das Oxyd durchschlagen mufsten. Mennige wurde sehr schnell reducirt, das Blei setzte sich an die Wandungen der Glasröhre an, es entwickelte sich dabei kohlensaures Gas und ein Gas, welches weniger Sauerstoff zu enthalten schien, als die atmosphärische Luft; reducirt wurden ferner Bleiweifs, doch in geringerer Menge, an der Luft bereitetes rothes Quecksilberoxyd sehr schnell, das sich als schwarzes Pulver an die Wände absetzte. Zinnoxyd (Zinnasche) und Eisenoxyd konnten auf diese Weise nicht reducirt werden. PLACIDUS HEINRICH [2] meint, dafs diese beiden gleichsam entgegengesetzten Wirkungen der Oxydation und Desoxydation von ganz verschiedenen Ursachen, letztere nämlich von den beim elektr. Schlage mitwirkenden *Lichte*, erstere von der elektrischen Materie im engeren Sinne abhänge, und dafs daher der el. Schlag nur in so weit das Oxyd reducire, so weit das Licht desselben mit wirke, weswegen bei der ersten Art, wie VAN MARUM die Versuche anstellte, die Reduction nur höchst sparsam war, verglichen mit dem Erfolge bei der zweiten Art den Versuch anzustellen, wo das Licht viel freier auf das Oxyd habe wirken können. Es enthält indessen nichts Widersprechendes, diese scheinbar entgegengesetzten Wirkungen auch blofs von einer gradweise

---

1 G. I. 274.

2 Die Phosphorescenz der Körper, S. 101. fg.

Digitized by Google

verschiedenen Wirksamkeit der Elektricität abzuleiten. Von der Wärme wenigstens ist es ausgemacht, dafs sie nach ihren verschiedenen Graden bald Oxydation, bald Desoxydation einer und derselben Substanz bewirkt.

Wenn starke el. Schläge über Nichtleiter hingeführt werden, so erscheinen sie dabei als Funken von verschiedener Lichtintensität und Färbung; in den Nichtleitern findet bisweilen eine geringe chemische Zersetzung statt, und es wird häufig eine mehr oder weniger andauernde Phosphorescenz erzeugt. Läfst man einen starken el. Schlag über einen Glasstreifen gehn, indem man die Spitzen der Drähte des allgemeinen Ausladers in einer Entfernung von 2 oder 3 Zoll von einander aufsetzt, so zeigt sich eine Spur des Funkens gewöhnlich als ein zickzackförmiger matter Streif, und dafs hierbei keine blofse mechanische Wirkung durch Trennung der Massentheilchen von einander, sondern eine wirkliche chemische Zersetzung statt findet, beweiset die Wiederherstellung der blauen Farbe des gerötheten nassen Lackmuspapiers, wie Simon gezeigt hat[1]. Diese alkalische Reaction zeigt sich auf dem ganzen Wege des el. Funkens, und die Erscheinung weicht in dieser Hinsicht von den galvanisch-chemischen Zersetzungen ab, wo die entgegengesetzten Substanzen, Säure und Alkali, an den entgegengesetzten Polen zum Vorschein kommen. Ein gleicher Schlag von einer Batterie von 4 Quadratfufs Belegung, über gemeinen Feldspath von blafsrother Farbe geleitet, gab keine Spur von Kali zu erkennen, als aber 10 Quadratfufs Belegung fünfmal über dessen Oberfläche entladen wurden, zeigten sich deutliche Spuren von Kali, doch in geringerem Grade, wie beim Glase. Andere Arten von Feldspath mit Ausnahme des grünen Feldspaths (des sogenannten Amazonensteins), so wie mehrere andere Kali- oder Natronhaltige Fossilien, wie Leucit, Zeolith, auch viele andere harte Fossilien, zeigten keine Spur von chemischer Zersetzung. Dagegen zeigten die kohlensauren und schwefelsauren Kalk-, Baryt- und Strontianarten die deutlichsten Kennzeichen von alkalischer Reaction, ohne dafs jedoch eine Spur einer an irgend einem Puncte freigewordenen Säure entdeckt werden konnte, selbst dann nicht, als Simon die Stelle, über

1 G. XXX. 54.

welche der Schlag hingeführt wurde, mit einem auf der innern Fläche befeuchteten Uhrglase bedeckte, um die etwa in Dampfform verwandelte Säure aufzufangen.

Blättriger grüner Talk gab nach 5 Entladungen von 4 Quadratfufs Belegung deutliche, nach 5 dergleichen von 10 Quadratfufs Belegung sehr starke alkalische Wirkung, auch weifser und grüner Speckstein durch das letztere Verfahren doch nur schwache, die natürliche Bittererde aus Mähren dagegen stärkere. Läfst man über die Oberfläche eines Stücks Kreide, auf welche man die Enden der Drähte des allgemeinen Ausladers aufsetzt, einen starken el. Schlag gehn, so zeigt sich auf dem Wege des Schlages ein Lichtstreifen mit prismatischen Farben, der einige Stunden hindurch anhält. Gleiche Wirkungen werden durch das Ueberschlagen der Entladung auf der Oberfläche anderer Nichtleiter hervorgebracht, allein die Stärke und Farbe, sowie die Dauer des Lichts weichen beträchtlich von einander ab, und läfst man den Schlag durch die Substanz einiger derselben gehn, so werden sie in leuchtende Partikelchen zertheilt, die eine beträchtliche Zeit hindurch ihr Licht behalten. Versuche dieser Art sind zuerst von Lane und Canton[1] angestellt, und nachher von Wilson, Morgan und Skrimshire[2], sowie vorzüglich von Placidus Heinrich[3] fortgesetzt worden. Singer erhielt beim Ueberschlagen des el. Schlages über verschiedene Substanzen nachfolgende Resultate. Natürlicher schwefelsaurer Baryt: hellgrünes Licht; natürlicher kohlensaurer Baryt: eben so, nur weniger glänzend; trockenes essigsaures Kali: glänzend grünes Licht; Bernsteinsäure: ebenso und mehr dauernd; Hutzucker: ebenso; Gypsspath: ebenso, aber vorübergehender; calcinirte Austerschalen: prismatische Farben; eben dieselben mit Schwefel calcinirt: dauerhaft und helles Licht; Bergkrystall: erst rothes, dann weifses Licht; Quarz: schwach weifses Licht; Borax: blasses grünes Licht; Boraxsäure: hellgrünes Licht[4]. Placidus Heinrich unterwarf eine grofse Menge Substanzen aus

---

1 Priestly's Geschichte der Elektricität, übers. von Krünitz S. 139.

2 Nicholson's Journ. XV. 281. XVI. 101. XIX. p. 153.

3 Die Phosphorescenz der Körper. Nürnberg 1811.

4 Singers Elemente der Elektricität. S. 129.

Digitized by Google

den unorganischen und den organischen Reichen ähnlichen Versuchen. Er bediente sich dabei blofs einer einzigen Flasche von 160 Quadratzoll Belegung, und will durch Batterieen und wiederholte Schläge keine auffallend verstärkte Resultate erhalten haben. Das allgemeine Resultat aller seiner Versuche war, dafs die Körper in dem gleichem Verhältnisse, in welchem sie schneller und intensiver durch *Bestrahlung* vom Sonnenlichte Phosphorescenz annahmen, auch durch den el. Schlag dieselbe erhielten. Er schreibt daher die ganze Wirkung blofs dem Lichte des el. Schlages zu, und erklärt aus der grofsen Intensität desselben die augenblickliche Hervorrufung der Phosphorescenz, während beim schwächeren Sonnenlichte mehrere Secunden dazu erforderlich waren. Besonders geneigt, solche Phosphorescenz anzunehmen, fand er diejenigen mineralischen Substanzen, die mit einer Säure verbunden sind, die kohlensauren und schwefelsauren Kalk- und Barytverbindungen. Die längst von ihm beobachtete Phosphorescenz betrug bei einem röthlichen Schwefelspathe 8 Minuten.

Auch über die Oberfläche besserer Leiter fährt der el. Schlag in Gestalt eines sichtbaren Funkens hin, und kann auf diese Weise sehr verlängert werden. Priestley[1] hat hierüber eine grofse Reihe von Versuchen angestellt. Er bemerkte diese Erscheinung zuerst bei einer Schöpsenkeule, über welche der Schlag auch bei einer Entfernung von mehrern Zollen als sichtbare Funken über die Oberfläche hinfuhr. Ebenso auffallend zeigte sich diese Erscheinung beim Wasser, bei verschiedenen animalischen Flüssigkeiten Milch, Eiweifs, Eigelb, selbst bei einer Entfernung der Drähte von 10 bis 12 Zoll von einander. Dabei ist das Licht sehr lebhaft, und der Knall stärker, als beim Durchschlagen durch die Luft, und hat Aehnlichkeit mit dem Knalle einer Peitsche. Ueber die Oberfläche des Vitriolöls fuhr dagegen die el. Entladung mit einem dumpfen Getöse, und einer rothen Farbe. Hält man die Hand unter das Wasser, wenn die Explosion über die Oberfläche desselben hinfährt, so hat man, wenn die Distanz der Drähte nicht zu grofs ist, nur eine schwache oberflächliche Empfindung davon, die aber in eine wahre Erschütterung

1 Geschichte der El. S. 448.

Digitized by Google

übergeht, wenn die Drähte bei einer Batterie von 5 bis 6 Quadratschuhen 7 Zoll oder mehr aus einander stehn, und in diesem Falle wird der gröfste Theil der Explosion durch das Wasser hindurchgeleitet. Ist die Distanz geringer, so fährt der Funke über die Oberfläche des Wassers hin, auch wenn die Drähte in das Wasser eingetaucht sind, und ihre Entfernung durch Eintauchen in schiefer Richtung unter dem Wasser geringer ist, als an der Oberfläche des Wassers. Gieſst man Wasser auf Quecksilber oder Messing, so nimmt die Explosion auf eine unsichtbare Weise ihren Weg durch die Masse des vollkommenen Leiters, dagegen wird längst einem schmalen und langen Streifen von Blattgold, Blattsilber u. s. w. die Explosion sichtbar als ein hellleuchtender Funke, den man bei Anwendung einer starken Batterie und bei der Ladung zu einer hohen Spannung bis auf mehrere Schuhe verlängern kann, wobei das Blattgold und Blattsilber auf dem Streifen Pappe oder Glas eine der oben bereits beschriebenen Zeichnung hinterläſst. Alle diese Erscheinungen erklären sich aus den verschiedenen Verhältnissen der Leitung unter diesen verschiedenen Modificationen.

Was die Wirkung des el. Schlages auf verschiedene Gasarten und ihre Gemenge betrifft, so kann derselbe hier übergangen werden, da einerseits alle diese Wirkungen auch von dem einfachen el. Funken hervorgebracht werden, andererseits dieselben mehr in das Detail der Chemie gehören.

Die Rolle, welche der el. Schlag in der Sphäre des Magnetismus spielt, indem er in unmagnetischem Stahle magnetische Pole hervorruft, in Magneten den Magnetismus nach Verschiedenheit der Umstände verstärkt oder schwächt, auch die Pole wohl umkehrt, findet ihre nähere Erwägung und Erklärung in den Artikeln, welche sich auf den Elektromagnetismus beziehn.

Es bleibt uns also nur noch übrig, die Wirkungen des el. Schlages auf Thiere und Pflanzen kurz zu betrachten. Jene eigenthümliche würdige Empfindung, welche man die elektrische Erschütterung nennt, und die damit verbundene unwillkürliche Zusammenziehung der Muskeln, welche eintritt, wenn der menschliche Körper oder auch nur eins der Glieder in den Verbindungskreis der beiden Belegungen eingeht, und die Entladung durch dasselbe durchgeht, war es vorzüglich, was im

Anfange die allgemeine Aufmerksamkeit so sehr auf sich gezogen hatte, und wir verweisen in dieser Hinsicht auf den Artikel *Flasche, elektrische*[1]. Sobald der elektrische Schlag eine grofse Stärke erreicht, nähern sich seine Wirkungen sehr denjenigen des Blitzstrahles, und haben Lähmung und selbst den Tod zur Folge. So tödtete Priestley eine Ratze durch den Schlag von 6 Quadratfufs Belegung, Katzen durch 33 — 38 Quadratfufs; ein Hund ward blind durch einen auf den Kopf gerichteten Schlag aus 62 Quadratfufs belegter Fläche. Kaltblütige Thiere, wie Frösche, können stärkere Schläge ohne besondere Verletzung aushalten. Van Marum[2] stellte mit seiner grofsen Batterie von 550 Quadratfufs Belegung Versuche über die Wirkung des el. Schlages auf die Reizbarkeit des thierischen Körpers an. Dieses geschah bei Aalen, welche einen so hohen Grad von Reizbarkeit besitzen, dafs sie nach abgeschnittenem Kopfe noch mehrere Stunden sich bewegen. Liefs er den el. Schlag durch die ganze Länge eines einen halben Fufs langen Aales gehn, so war er augenblicklich getödtet, und jede Spur von Reizbarkeit vernichtet. Liefs er aber den Schlag bald durch den Kopf, bald durch den Schwanz, bald durch den mittleren Theil des Körpers gehn, so war die Reizbarkeit nur in diesem Theile vernichtet, und der übrige Körper behielt sie vollkommen bei. Hiermit stimmten die Versuche an Kaninchen mit der Entladung von 30 Quadratfufs belegter Fläche völlig überein. Bei dieser die Nervenkraft und die davon abhängige Reizbarkeit der Muskeln lähmenden Einwirkung des el. Schlages kommt es aber wesentlich darauf an, ob der el. Schlag genöthigt wird, mehr in das Innere des Körpers einzudringen, oder ob er mehr nur auf seiner Oberfläche hingeleitet wird. So fand Raschig[3], als er den Schlag aus einer Flasche von zwei Quadratschuh Oberfläche, die bis zum Ausströmen geladen war, durch den Knopf auf den Kopf von Eidechsen leitete, mit deren Schwanze der zur äufsern Belegung führende Draht in Verbindung stand, die Eidechsen zwar erst betäubt und wie todt, sie erholten sich aber bald wieder. Der Knall war in diesem Falle heftig, und ein glänzender Funken fuhr längs der Oberfläche hin.

1 S. Bd. IV. S. 377 und 395.
2 Grens Journal der Physik. VI. 37.
3 G. XXXI. 204.

Als Raschig aber dieselbe Flasche nur mäfsig lud, erfolgte bei der Entladung nur ein kurzer, rother Funke, ohne den gewöhnlichen hellen Knall, aber das Thier war und blieb todt. Raschig erinnert hierbei an die heftigsten Blitzschläge, welche, indem sie nur an der Oberfläche des menschlichen Körpers hinfahren, und selbst Metalle schmelzen, nicht tödten, während weniger heftige Schläge, die ihren Weg zum Theil durch das Innere suchen, tödtlich werden. Ganz analog damit sind auch die Versuche über die Entzündung des Schiefspulvers.

Eine ganz ähnliche Wirkung des el. Schlages, wie die auf die Reizbarkeit der Thiere, beobachtete van Marum auch auf die Reizbarkeit der Pflanzen[1]. Eine ganz schwache Ladung, welche durch einen Zweig der Euphorbia lathyris Linn. ging, vernichtete alle Reizbarkeit der Gefäfse so, dafs man nachher nicht das Geringste mehr von Milchsaft ausfliefsen sah, welchen sonst die Pflanze, wenn sie verwundet wird, so häufig von sich giebt. Nairne[2] hatte den el. Schlag einer Batterie von 50 Quadratfufs Belegung durch verschiedene Pflanzen, namentlich durch den Lorbeerbaum und die Myrthe, geführt. Alle Zweige, durch welche der Schlag gegangen war, starben früher oder später ab, je nachdem die Pflanze mehr oder weniger saftreich war, an der Myrthe z. B. erst nach einem Monate einige kleine Zweige in der Krone. Van Marum[3] wiederholte diese Versuche bei abgeschnittenen Zweigen von Weiden, die eben anfingen, Knospen zu treiben. Sie hatten alle Triebkraft verloren, und waren nach einigen Tagen abgestorben[4].

P.

---

1 Brief des Herrn van Marum an den Herrn Ingenhouss in Gren's Journal d. Ph. T. IV. p. 364.

2 Philos. Trans. T. LXIV. p. 1.

3 G. I. 216.

4 Zur Literatur im Ganzen dient: Jos. Priestley's Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Elektricität, übers. von Dr. J. G. Krünitz. Berlin u. Stralsund 1772. Martinus van Marum Description d'une très grande Machine électrique. Haarlem 1785. 4. (Deutsch. Leipzig 1785.). M. van Marum Première Continuation des Experiences etc. Haarlem 1787. 4. (Deutsch. Leipzig 1788.). M. van Marum Seconde Continuation des Expériences etc. Haarlem 1795. 4. (Deutsch. Leipzig 1798.) Beschreibung einer Elektrisirmaschine von J. R. Deimann und

Digitized by Google

Schnee.

Nix; Neige; *Snow.*

Der Schnee gehört zu den Hydrometeoren, oder denjenigen Gebilden der Atmosphäre, bei denen das Wasser die Grundlage ausmacht; er entsteht aus demjenigen Wasser, welches in der Atmosphäre anfangs als Dampf vorhanden ist, dann seine Expansion zum Theil verliert und in Dunst übergeht[1]. Alle übrige Hydrometeore erfordern einen Uebergang des völligen expandirten (durchsichtigen) Wasserdampfes in Dunst, woraus die Wolken bestehn, die Erzeugnisse fallen daher insgesammt aus Wolken herab, aufser gewissen Arten des Schnees, die bei heiterem Himmel als feine Eisnadeln erscheinen, und zwar die Luft etwas trüben, sie jedoch nicht, wie die Wolken, undurchsichtig machen.

Zur näheren Einsicht der Schneebildung scheinen mir die Beobachtungen sehr wichtig, die ich selbst gemacht habe. In einem exantlirten Ballon von feinem englischen Glase liefs ich geringe Mengen von Wasser an einer Seite sich im gefrornen Zustande an die Wandungen anlegen, setzte dann den Ballon auf die Bank eines geöffneten Fensters in einem nicht geheizten, aber dennoch etwas mehr als die äufsere Luft erwärmten Zimmer so, dafs die Eistheilchen nach Innen gerichtet waren. Indem dann die Wärme aus dem Zimmer durch den Ballon nach Aufsen strömte, wurden unsichtbare kleine Partikeln des Eises als Dampf mit fortgerissen, aus denen an der entgegengesetzten Wandung sehr schöne und regelmäfsig krystallisirte Schneeflocken entstanden, die nur sehr lose an der Oberfläche festhingen[2]. Hieraus geht also hervor, dafs die feinen, den Schnee bildenden Eisnadeln unmittelbar aus dem niederge-

---

Paets van Troostwyck. Leipzig 1790. Tiberius Cavallo vollständiger Unterricht von der Elektricität. Vierte Ausgabe. 2 Bände. 8. Leipzig 1797. G. J. Singer Elemente der Elektricität und Elektrochemie, übers. von C. H. Müller. Breslau 1819.

1 Ueber den Gehalt der Atmosphäre an Dampf und Dunst nach dem in diesem Werke angenommenen Sprachgebrauche ist bereits in mehrern Artikeln das Erforderliche gesagt. Vergl. *Regen* Bd. VIII. S. 1212., wo sich zugleich die nöthigen Nachweisungen finden.

2 Physikalische Abhandlungen. Giessen 1816. S. 65.

schlagenen Dampfe, ohne einen merkbaren Uebergang zum Dunste, entstehn können.

Die Gestalt des Schnees ist sehr mannichfaltig, von den feinsten Nadeln bis zu dicken Flocken. Sie beruht auf der Krystallform des Eises, die sich an den feinsten Nadeln am deutlichsten zeigt, bei den grofsen Flocken aber am wenigsten kenntlich ist, weil diese aus zu regellos aufgehäuften Theilen bestehn. Ueber die Grundform der Eiskrystalle ist bereits oben[1] gehandelt, und es genügt daher hier blofs nachzuweisen, wie sich dieselbe in den vielfachen Gestalten des Schnees zeigt. Diese haben stets die Aufmerksamkeit der Naturforscher erregt, und schon Keppler[2] untersuchte die regelmäfsigen Figuren des Schnees. Nachher sind sie von Dr. Hooke[3], Engelmann[4], Nehemiah Grew, Dr. Langwith und Nettis[5], Cassini[6], Musschenbroek[7], Lulof[8], Stocke[9], Wilke[10] und andern untersucht, am genauesten und vollständigsten aber von Scoresby[11], welcher nach eigenen Beobachtungen die verschiedenen Arten derselben in Classen gebracht und durch vortreffliche Zeichnungen erläutert hat, die ich der Wichtigkeit der Sache wegen hier vollständig mittheile, da das kostbare Originalwerk ohnehin nur in wenigen Händen sich befindet.

Die regelmäfsigsten Figuren entstehn bei strenger Kälte, und wenn gleich bei den dicken Flocken die eigentlichen Ge-

---

1 S. *Eis*. Bd. III. S. 106.

2 Strena, s. de nive sexangula. Frkf. 1611. 4. Vergl. Casp. Dornavii Amphitheatrum sapientiae Socraticae. p. 751.

3 Micrographia. p. 88.

4 Het regt Gebruyk der Naturbeschouwingen in een Verhandeling over de Sneefiguren. Haarlem 1747.

5 Phil. Trans. 1723. T. XXXII. 298. Vergl. N. 92 u. 376. T. XLIX. p. 644. Jahr 1756.

6 Mém. de l'Acad. II. 87. X. 25.

7 Introduct. T. II. Tab. 61.

8 Mém. de Berlin. 1740. T. VI. p. 83.

9 Phil. Trans. 1742. T. XLII. p. 114.

10 Schwed. Abhandl. 1761. 3. 89. Journ. de Phys. T. I. p. 106.

11 An Account of the arctic regions, with a History and description of the northern Whale-Fishery. Edinb. 1820. II. T. 8. T. I. p. 425. Dessen Reise auf den Wallfischfang. Uebers. von Kries. Hamb. 1825. S. 95.

Digitized by Google

stalten schwer erkennbar sind, so gewahrt man doch bald mit genügender Sicherheit, dafs die einzeln zusammengefügten Nadeln Winkel von 60° und 120° miteinander bilden. Scoresby ordnet sie sämmtlich in fünf Arten, deren jede vielfache Verschiedenheiten darbietet. Am häufigsten und bei allen Temperaturen in gröfster Menge vorkommend sind:

1) Die blättrigen Krystalle[1], meistens sehr dünn, durchscheinend, und von ausnehmend zartem Baue. Zu ihnen gehören a) die sternförmigen, die mit 6 Spitzen von einem Puncte auslaufen, und eine Menge kleine, in derselben Ebene liegende und mit den gröfseren 60° bildende Spitzen haben. Fig. 174. bis 188. b) Die regelmäfsigen Sechsecke sind gröfser bei mäfsiger Kälte, sehr dünn und zart bei heftiger Kälte und mannichfaltig verschieden, indem weifse Linien sie in andere Hexagone oder sonstige regelmäfsige Figuren zerlegen, wobei sie zugleich von den kleinsten Blättchen bis zur Gröfse von einem Zehntelzoll variiren, wie aus den Zeichnungen ersichtlich ist. Fig. 189. c) An diese schliefsen sich die Aggregationen von Hexagonen, die hauptsächlich bei niedrigen Temperaturen von der gröfsten Verschiedenheit der Gestaltung und Gröfse vorkommen, und wovon einige der wichtigsten durch die Zeichnungen dargestellt sind. Fig. 190. bis 194. d) Die Verbindungen von Sechsecken sind oft mit Radien und Spitzen vereint, die in verschiedenen Winkeln gegen einander gerichtet erscheinen. Hieraus entsteht eine kaum übersehbare Mannichfaltigkeit von Gestalten, bei denen die Hauptform zwar in den meisten Fällen deutlich hervortritt, andere sind jedoch offenbar durch Vereinigung und Ueberlagerung mehrerer Krystalle entstanden. Fig. 195. bis 206. Fig. 207. bis 253.

2) Ein Blättchen oder ein sphäroidischer Nucleus ist mit Spitzen umgeben, die in den verschiedensten Ebenen gegen einander liegen. Sie lassen sich nicht füglich auf der Ebene des Papiers durch eine Zeichnung darstellen, und begreifen ungefähr drei Species in sich, nämlich a) ein Krystall, bestehend aus einem Blättchen, von dessen einer oder beiden Flächen und zugleich von den Kanten mehrere Nadeln ausgehn, die alle eine Neigung von 60° zeigen. Ihr Durchmesser übertrifft zuweilen $\frac{1}{4}$ Zoll, und sie fallen häufig bei einer Temperatur

---

1 Die kleine Zahl über den Figuren bezeichnet, wie vielfach sie vergröfsert sind.

Digitized by Google

von — 4° bis — 6° C. b) Ein sphärischer Nucleus mit Radien, die nach allen Seiten auslaufen. Beide Species unterscheiden sich dadurch, dafs bei jener der Kern durchsichtig, bei dieser undurchsichtig, ein kleines zusammengesintertes Tröpfchen ist, die Spitzen aber sind bei beiden gleich, auch ist ihre Gröfse nicht sehr verschieden, doch bleibt die letztere etwas gegen die erstere zurück.

3) Feine Spiefse oder sechsseitige Prismen. Sie sind zuweilen sehr zart und krystallinisch, zu andern Zeiten rauh, die feinsten gleichen zu kleinen Endchen geschnittenen weifsen Haaren, erreichen an Länge ¼ Zoll, fallen bei einer Kälte nicht weit unter dem Gefrierpuncte und häufig aus dem Nebel herab, weswegen sie vermuthlich in den niederen Schichten der Atmosphäre erzeugt werden.

4) Sechseitige Pyramiden, eine seltene Art, die Scoresby nur einmal, aber in grofser Menge mit andern Krystallen herabfallen sah. Eine Abart derselben hatte entweder ein Dreieck oder eine diesem ähnliche Figur, wie die Zeichnung angiebt, zur Basis. Fig. 263.

5) Spitzen oder Prismen, deren Enden im Centrum einer krystallisirten Lamelle festsitzen, die seltenste Art, die Scoresby nur zweimal in geringer Menge zwischen andern Flocken herabfallen sah, als die Temperatur — 5° bis — 6° war. Die verschiedenen Species dieser und anderer Gattungen sind aus der Zeichnung kenntlich. Fig. 254. u. 255. Fig. 256. bis 269.

Bei allen Arten sind die Figuren oft nicht vollständig ausgebildet, und in einigen Theilen mangelhaft; die vollständigsten und regelmäfsigsten Krystalle erscheinen bei niedriger Temperatur. Ueberhaupt hat die Kälte in Verbindung mit der sonstigen Beschaffenheit der Atmosphäre und der Stärke sowohl als auch der Richtung des Windes einen unverkennbaren Einfluſs auf die Gestaltung und Gröfse der Schneeflocken, wie schon Guettard[1] bemerkte, und Scoresby durch eine Zusammenstellung der Resultate seiner Beobachtungen erläutert hat; es scheinen mir aber die Thatsachen noch nicht genügend zu seyn, um allgemeine Gesetze hierüber aufzustellen. Alle die verschiedenen Gestalten aus der Grundform der Krystalle abzuleiten, wäre eine interessante Aufgabe der Kry-

1 Mém. de Paris. 1762. Vergl. Musschenbroek Introd. §. 2403.

Digitized by Google

stallographie, deren Lösung jedoch einen für den vorliegenden Zweck zu grofsen Zeitaufwand erfordern würde[1].

Es kann der Natur der Sache nach blofs dann schneien, wenn die Temperatur unter dem Gefrierpuncte des Wassers oder nur wenig darüber ist, und im letztern Falle entsteht blofs ein Gemenge aus Schnee und Regen, indem die in der kältern höhern Region erzeugten Flocken zusammensintern, daher aufserordentlich grofs, aber zugleich unregelmäfsig im Gefüge werden, und in den niedrigern Schichten der Atmosphäre zum Theil schmelzen. In der heifsen Zone fällt der Schnee daher nur in beträchtlicher Höhe über der Meeresfläche, z. B. unter der Linie auf der Hochebene von Antisana fällt Schnee in einer Höhe von 12600 Fufs selbst zu 2 bis 3 Zoll hoch, und bleibt zuweilen 5 bis 6 Wochen liegen; im Königreiche Quito unweit Peramos in 11400 Fufs Höhe, wo das Thermometer bei 9° C. mittlerer Temperatur zuweilen auf — 4° herabgeht, fällt gleichfalls Schnee, und die höchsten, bis über die Schneegrenze reichenden Bergspitzen aller Länder haben stets Schnee, wenn es in tieferen Gegenden regnet, weswegen sie auch meistens mit Schnee bedeckt sind. Die Höhe, unter welcher kein Schnee mehr fällt, ist bei der Meierei Pesanche in 11322 F. Erhebung über der Meeresfläche, wo bei den Bergbewohnern die Sitte herrscht, den Fremden, die den ersten Schneefall dort erleben, ein Schneebad zu geben[2].

Der meiste Schnee in mäfsiger Erhebung über der Meeresfläche unter mittleren Breiten fällt aus Wolken, bei trübem Himmel, und wenigen Graden unter dem Gefrierpuncte des Wassers, in der Regel, wenn es nach strengerer Kälte etwas gelinder geworden ist. Hierauf ist das Vorurtheil gegründet, dafs es bei sehr strenger Kälte nicht schneien könne; richtiger dagegen mufs man annehmen, dafs die Luftströmungen, die aus sehr kalten Regionen kommen, eben deswegen sehr arm an Wasserdampf sind. Eine gleichfalls gemeine Behauptung, wonach durch die Bildung des Schnees die zur Expansion des Wasserdampfes dienende Wärme frei werden und die Temperatur steigen soll[3], ist vielmehr dahin zu be-

1 Vergl. Marx über die Krystallform des Eises in Schweigger's Journ. LIV. p. 326.

2 V. Humboldt in Ann. de Chim. T. XIV. p. 37.

3 Gren Grundrifs d. Naturlehre. §. 989.

richtigen, dafs der Schnee nur dann aus dem Dampfgehalte der Atmosphäre gebildet wird, wenn kalte und wärmere Luftschichten sich mengen, die Temperatur der entstandenen Mengung dann so weit herabgeht, dafs der Wasserdampf nicht expandirt bleiben, aber auch nicht als Regen herabfallen kann, wonach also nothwendig Schnee gebildet werden mufs. Angenommen, eine Luftmasse von 4° würde mit einer andern von — 10° vereinigt, beide so viel Wasserdampf enthaltend, dafs durch Temperaturverminderung von 1° R. ein Niederschlag entstehn müfste, so würde durch ihre Vereinigung auf gleiche Weise, als für die Bildung des Regens nachgewiesen ist[1], ein wässeriger Niederschlag entstehn, und durch die gleichfalls bis — 3° verminderte Temperatur in Schnee verwandelt werden. Hierin liegt dann auch der Grund, warum es nach dem Schneien sowohl kälter als auch wärmer zu werden pflegt; das erstere, wenn die kalten Luftströmungen die Oberhand erhalten, das letztere, wenn das Gegentheil statt findet. Nicht selten, und unter mittleren Breiten sogar noch häufiger, geht der anhaltende, bei abnehmender Temperatur stets feiner werdende Regen allmälig in gemischten, gröbern und dann erst in feinern Schnee über, welcher anfangs auf dem noch etwas wärmern Erdboden schmilzt, nachher aber sich erhält, und bei zunehmender Kälte mit heiterem Himmel liegen bleibt. Hiermit übereinstimmend ist die von Buch[2] zuerst aufgefundene, nachher mehrfach und namentlich durch Dove bestätigte Regel, dafs in Berlin, und auf gleiche Weise überall in Deutschland, Schnee entsteht oder der feine Herbstregen in Schnee übergeht, wenn der Wind von S durch W nach N übergeht, und das Barometer zu steigen beginnt. Die nördlichern, kältern, mithin auch schwerern Luftmassen pflegen nämlich in den niedern Regionen zu strömen oder, wenn sie die höhern einnehmen, herabzusinken, wodurch die südlichern genöthigt werden, über ihnen hin zu strömen, und die Vereinigung beider die Disposition zum Schneien bedingt. Nach den Resultaten, die L. v. Buch aus Beguelin's Registern entnommen hat, bringen im Winter unter 100 Malen die folgenden Windrichtungen Schnee

---

1 S. Art. *Regen*. Bd. VII. S. 1216.

2 Abhandl. der Berl. Acad. 1818 — 19. S. 101.

S,	SW,	W,	NW,	N,	NO,	O,	SO,
5,0	15,7	14,7	21,5	11,1	17,5	7,0	7,3

Es hängt also hiermit sehr naturgemäfs zusammen, dafs es häufig noch während des Schneiens zunehmend kälter werden und das Fallen des Schnees auch bei beträchtlichen Kältegraden fortdauern könne, wie schon Musschenbroek[1] aus seinen Beobachtungen gefolgert hat, obgleich auch aus den angegebenen Bedingungen leicht erklärlich ist, dafs nach dem Fallen des Schnees die Temperatur milder werden könne, wenn die südlichern, wärmern Luftströmungen die Oberhand erhalten. Auf jeden Fall mufs eine mit Wasserdampf mehr beladene Luftschicht vorhanden seyn, aus welcher zur Abkühlung ein Niederschlag entsteht, der dann noch durch die hinlänglich niedrige Temperatur in Schnee verwandelt werden kann. In der Regel wird daher unter mäfsigen Breiten der Schnee bei Temperaturen fallen, die geringer sind, als diejenigen, welche der strengsten Winterkälte und heiterem Himmel angehören. Diesemnach hält L. v. Buch für Berlin eine Temperatur von — 4° bis — 5° für die mittlere, bei welcher dauernder Schnee fällt, und glaubt, dafs es bei — 13° kaum noch schneien könne, Kämtz[2] aber sah zu Halle am 15. Jan. 1828 bei — 14°,8, am 20. Jan. 1829 bei — 16°, am 4. Febr. 1830 bei 17°,8 und am 30. Jan. 1830 bei — 18°,1 Schnee fallen. Ohne die tiefsten Temperaturen, wobei es noch schneien kann, besonders beachtet und aufgezeichnet zu haben, finde ich in meinen meteorologischen Registern Schneefälle bei tieferen Temperaturen bemerkt: am 12. Jan. 1820 bei — 13°,75, am 3. Jan. 1821 bei — 7°,25, am 13. Jan. 1823 bei — 8°,75 und am 24. desselben Monats bei — 9°,3, am 26. Jan. 1826 bei — 10°, am 22. Jan. 1827 bei — 9°,25, am 17. Jan. 1829 bei — 6°,75, am 5. Jan. 1830 bei — 10° und am 19. Dec. desselben Jahres bei — 6°,75. Hieraus ergiebt sich also, dafs das Fallen des Schnees bei niedrigern Temperaturen nicht eben unter die Seltenheiten gehört, und zwar vermuthlich für ganz Deutschland und diejenigen Länder Europa's, die unter gleichen Breiten liegen, obgleich L. v. Buch im Wesentlichen darin Recht hat, dafs die Temperatur beim Schneien meistens

1 Introduct. §. 2403.
2 Lehrbuch der Meteorologie. Halle 1831. Th. I. S. 406.

geringer ist, als die stärkste zu jener Zeit, da in der Regel nach dem Schneien eine gröfsere Kälte folgt, die um so stärker zu seyn pflegt, je tiefer die Temperatur beim Schneien selbst herabging. Aus höheren Breiten sind über diese Frage nicht hinlänglich zahlreiche Beobachtungen bekannt, indefs wissen wir, dafs eigentliche Schneefälle auch dort bei verschiedenen, den eben angegebenen nahe kommenden Temperaturen statt finden. So giebt Scoresby[1] als niedrigste Temperatur — 12°,3 C. an, bei welcher es in den Eismeeren bei Spitzbergen noch eigentlich zu schneien pflegt, eine Bestimmung, welche ihr Auffallendes verliert, wenn man berücksichtigt, dafs blofs während des Sommers dort beobachtet wurde.

In allen Gegenden von Deutschland, hauptsächlich in den nördlichern, fallen nicht selten bei anscheinend ganz heiterem Wetter, bei Windstille und im Sonnenschein ganz feine, völlig durchsichtige und winzig kleine Blättchen, seltener kleine Nadeln, herab, die durch die Reflexion des Lichtes glänzend erscheinen und daher sowohl bei ihrem Herabfallen und Schweben in der Luft, als auch auf einem dunkeln Grunde leicht kenntlich werden. Obgleich die Anwesenheit solcher feiner Krystalle in den höhern sehr kalten Regionen der Atmosphäre höchst wahrscheinlich ist, da man aus ihnen die Entstehung der *Höfe* erklärt, die man, namentlich wenn sie sehr schwach sind, bei der Spiegelung der Sonne im Wasser[2] oder nach der sinnreichen Methode von Kämtz in einem schwarzen Glasspiegel wahrzunehmen pflegt, so ist doch zu vermuthen, dafs die eben erwähnten nicht aus dieser Höhe herabfallen, sondern in den untersten Schichten der Atmosphäre gebildet werden. Unter mittleren Breiten fallen nur wenige solche feine Krystalle herab und bilden keine eigentliche Decke, obgleich der Procefs sich zuweilen an mehrern Tagen nach einander erneuert, unter höhern Breiten aber ist die Erscheinung weit häufiger und die Menge des auf diese Weise erzeugten sogenannten *Staubschnees* beträchtlich grofs. Parry[3] sah ihn bei seinem Winteraufenthalte zu Port Bowen

1 A. a. O.

2 Vergl. *Hof.* Bd. V. S. 434.

3 Journal of a third Voyage for the Discovery of a North-West Passage. cet. Lond. 1826. 4. p. 77.

mehrmals an heitern Tagen herabfallen, und seine Höhe betrug, wo ihn der Wind nicht zusammenwehte, 4 bis 5 Zolle; die Krystalle waren sehr klein. MAUPERTUIS[1] beschreibt den Schnee in Lappland als einen feinen, trocknen Staub, welcher bei einer Höhe von 4 bis 5 Fufs das Gehen fast unmöglich macht. Er dringt durch die feinsten Risse in die Häuser ein, greift die Augen sehr an und ist nach den Beobachtungen von MIDDLETON[2] in Nordamerica eine grofse Plage des hohen Nordens. Auch BEDEMAR[3] sah ihn zu Röraas bei −15° C. im hellen Sonnenscheine entstehn und aus der Luft anhaltend bis zu beträchtlicher Menge herabfallen. Oft ist die Bildung dieses Schnees mit einem Nebel verbunden, welcher durch die feinsten Risse in die Gemächer dringt und die Betten nebst den darin liegenden Personen nach Art des Reifs mit feinen Schneenadeln bedeckt, wie BEDEMAR[4] namentlich von Kielvig erzählt; ich selbst aber erinnere mich, dafs im kalten Winter 1788 ebendiese Unannehmlichkeit im nördlichen Deutschland bei nicht hinlänglich dicht verwahrten Gemächern statt fand.

In Deutschland und den Ländern unter gleicher Breite fällt der Schnee meistens bei ruhiger Luft, zuweilen aber ist namentlich der mit Regen gemischte oder der, welcher bei vorherrschender Gewitterdisposition, namentlich im Februar, zu fallen pflegt, mit stürmischer Witterung verbunden. Meistens geht dann der Wind während des Schneiens von seiner westlichen oder südwestlichen Richtung nach Norden über, das Wetter heitert sich nach dem Falle des Schnees auf und es tritt Frostkälte mit heiterem Himmel ein. Dauert der Wind fort, so häuft dieser den Schnee in den Niederungen bedeutend auf und macht es unbestimmbar, wie hoch der gefallene Schnee anzunehmen sey. Nicht eben selten aber, und hauptsächlich häufig auf hohen Bergen und in gebirgigen Gegenden, ist das Fallen des Schnees von Winden begleitet, die an Stärke den heftigsten Stürmen nahe kommen und die man auch wohl, näher bezeichnend, *Schneestürme* zu nennen

---

1 La Figure de la Terre cet. Amst. 1738. 8. p. 55.
2 Phil. Trans. Nr. 465.
3 Reisen. Th. I. S. 255.
4 A. a. O. Th. II. S. 115.

pflegt, indem sie blofs so lange anhalten, als der Schnee herabfallt. Man erkennt dann an den Schneeflocken sehr deutlich die wirbelnde Bewegung der Luft, welche ohne Zweifel bei allen Stürmen statt findet. Eine interessante Beschreibung eines solchen Schneesturmes, welcher am 20. Sept. 1781 zwei Reisende auf ihrem Wege zur Spitze des Brockens überfiel und in nicht geringe Gefahr brachte, erzählt Lichtenberg[1], und Lampadius[2] beobachtete einst auf dem 140 Fufs hohen Petersthurme zu Freiberg, dafs der Schnee bis zu 200 Fufs Höhe vom Wirbelwinde emporgehoben wurde. Dahin gehören dann auch die Schneestürme auf den Alpen, die so häufig den Reisenden gefährlich werden, indem sie die Wege unkenntlich machen, die sogenannten Schneelehnen aufhäufen und Menschen sowohl als auch die Lastthiere in Abgründe stürzen oder mit den herabrollenden Schneemassen überdecken, weswegen zur Rettung derselben auf dem Hospitium des St. Bernhard grofse abgerichtete Hunde gehalten werden. Unter höhern Breiten herrschen solche Schneestürme auch in geringern Höhen und namentlich scheint dieses in Norwegen der Fall zu seyn. Bedemar[3] beobachtete einen solchen zu Röraas, welcher so heftig war, dafs er auf eine Entfernung von 1200 Fufs seine Wohnung kaum finden und nur mit Mühe erreichen konnte, ja selbst Gefahr lief, im Andrange der Luft zu ersticken. Das Geräusch des tobenden Sturmes ist dabei so heftig, dafs die lautesten Töne selbst in der Nähe nicht mehr hörbar sind. Dort besteht daher das Gesetz, dafs die sämmtlichen Arbeiter von den Bergwerken vereint zurückgehn müssen, damit die ältern und schwächern in den Schneestürmen nicht umkommen. Dafs solche Schneestürme den Gewittern beizuzählen sind, läfst sich schon an sich vermuthen, und wird sowohl durch die elektrische Disposition der Luft beim Schneien, als auch dadurch bestätigt, dafs plötzlich eintretende starke Schneefälle zuweilen von Blitzen und vom Donner begleitet sind, auch wurde einst zu Lochawe ein Schneesturm beobachtet, wobei der Schnee und alles umher einige

---

1 Göttingisches Magazin. 2ter Jahrg. Th. II. S. 231.

2 Systematischer Grundrifs d. Atmosphärologie. Freib. 1806. S. 163.

3 Reisen. Th. I. S. 254.

Digitized by Google

Minuten lang leuchtete[1]. Sehr heftig sind die Schneestürme zu Kamtschatka, wo sie *Purga* genannt werden und den Reisenden grofse Gefahr bringen, in den Thälern unter dem von den Bergen herabgetriebenen Schnee begraben zu werden[2].

Die Menge des herabfallenden Schnees ist nach den Jahren und Gegenden sehr verschieden. Auf den Berggipfeln, wo es nicht regnet, sondern blofs schneiet, ist die Quantität stets ziemlich gleich, in geringeren Höhen über der Meeresfläche aber, wo es blofs im Winter schneiet, ist sie sehr verschieden. In manchen Wintern schneiet es überall kaum, oder so wenig, dafs gar keine Schneedecke über dem Boden gebildet wird, in andern erreicht der Schnee eine Höhe von 0,5 bis etwa 4 Fufs; an Stellen aber, wo ihn der Wind zusammenweht, liegt er zuweilen noch ungleich höher. In Thälern und waldigen Gegenden fällt mehr Schnee als in der Ebene, überhaupt aber ist seine Menge von der eigenthümlichen Beschaffenheit der Witterung im Winter abhängig. Den bedeutendsten Einfluss auf die Menge des Schnees hat die Breite der Orte, allein es würde zu falschen Resultaten führen, wenn man beide Gröfsen einander direct proportional annehmen wollte. Dafs unter niederen Breiten nur wenig Schnee fallen könne, die Bergspitzen nahe bei und über der Schneegrenze ein für allemal ausgenommen, versteht sich schon von selbst, da die Region des Schnees überhaupt erst etwa im mittleren Italien beginnt, in Asien und vorzüglich in America aber sich viel weiter nach Süden erstreckt. Man wird sich nicht viel von der Wahrheit entfernen, wenn man den Anfang derjenigen Region, wo es in der Ebene überhaupt schneiet, in die isothermische Linie[3] von 15° C. setzt, die etwa durch

---

1 Edinb. Phil. Journal N. XXIV. p. 405. Ann. of Phil. N. Ser. XI. 154. Vergl. Lampadius in G. LXX. 118.

2 Kotzebue Reisen Th. II. S. 3. Mehrere Beobachtungen ähnlicher Erscheinungen findet man in Reisebeschreibungen.

3 Vergl. *Temperatur*. An einigen Orten geht er durch Oertlichkeiten begünstigt tiefer herab, z. B. zu Deihbihd zwischen Ispahan und Persepolis unter nicht völlig 31° N. B. fällt alle Jahre Schnee, und oft in solcher Menge, dafs die Reisenden 40 Tage dadurch aufgehalten werden. S. Morier's Reise durch Persien u. s. w. Weimar 1814. S. 99. Zu Damascus gehört der Schnee unter die Seltenheiten. S. Ali-Bey's zu Abassi Reisen. Weimar 1816. 2te Abth. S. 476.

Florenz geht. In dieser gehört der Schnee unter die Seltenheiten und es kann daher von seiner Menge nicht eigentlich die Rede seyn. Von hier an nimmt dieselbe mit den Graden der Breite zu, bis etwa zur Isotherme von 5°, die nahe bei Tronthiem fällt, dann aber nimmt sie wieder ab, weil in hochnördlichen Gegenden die Luft zu kalt und demnach zu arm an Wasserdampf ist.

Ungleich wichtiger sind dann aber die örtlichen Bedingungen, welche ihren Einfluſs auf die Menge des fallenden Schnees ausüben und bewirken, daſs dieselbe unter den nämlichen Breiten auf gleiche Weise verschieden ist, als dieses bei den Regenmengen statt findet; indeſs fehlen hierüber allgemeine Beobachtungen, weil man sich in der Regel darauf beschränkt, die Menge der wässerigen Niederschläge im Ganzen auszumitteln, und es werden daher nur einzelne auffallende Erscheinungen aufgezeichnet. So erwähnt Musschenbroek mehrere Beispiele hoher Schneefälle in verschiedenen Gegenden, Bouguer[1] erzählt von solchen auf dem Berge Asonay, die jeden, den sie überraschen, in Lebensgefahr versetzen, Maupertuis gedenkt solcher in Lappland, und Ellis giebt an, daſs in der Gegend der Hudsonsbay oft alles so sehr mit Schnee überdeckt wird, daſs man weder Wege noch selbst Wohnungen der Menschen wahrnimmt; in Newyork aber fiel im Jahre 1741 so viel Schnee, daſs er die Erde 16 Fuſs hoch bedeckte. Ueberhaupt ist in den nordamericanischen Staaten die Menge des Regens und des Schnees, insbesondere des letztern, ausnehmend verschieden, was man als eine Folge des bedeutenden Einflusses betrachten muſs, welchen die herrschenden Winde auf die Beschaffenheit des Wetters im Allgemeinen ausüben, indem dieses sich bei Nord- und Nordostwinden ganz anders gestaltet, als bei südlichen und südwestlichen. Vom Thale des Tenessee-Flusses bis zu den Gewässern, die in den Ohio flieſsen, wird der Schnee zunehmend tiefer, erreicht am erstern Orte nur wenige Zoll, am nördlichen Ohio und in Indiana aber zuweilen, wie 1830 auf 31, zwei Fuſs. In Cincinnati fällt der Schnee selten über einen Fuſs hoch, meistens erreicht er nur ein Drittel dieser Höhe, und selten liegt er mehrere Wochen, weil bald erfol-

1 Voyage au Perou. p. 42.

Digitized by Google

gendes Thauwetter ihn auflöst; doch giebt es ausnahmsweise Beispiele anhaltend kalter Winter, wie z. B. 1796 und seitdem wieder 1831 auf 32. Unterhalb des 40. Breitengrades fällt mehr Schnee östlich von den Alleghanny-Bergen, als westlich von diesen, über jene Breite hinaus fällt dieser Unterschied weg, aber dort ist die Menge des Schnees der vielen Seeen wegen sehr bedeutend[1]. Norwegen hat wegen seiner nördlichen Lage und der Nähe des Meeres viel Schnee, hauptsächlich in den Gebirgsthälern und den Fiörden. Nach L. v. Buch[2] erreichte er im Winter 1806 auf 7, als es von Weihnachten bis in den April unaufhörlich schneiete, zu Gebostadt die beispiellose Höhe von 20 Fufs und zu Lenvig von 12 F., in Bergen aber fällt nie über 4 Fufs. In Finmarken, hauptsächlich im nördlichen Theile, fällt eine unglaubliche Menge, so dafs er namentlich in Masöe und Kielwig oft über den ersten Stock der Häuser hinausragt und nicht vor Johannis weggeschmolzen ist. So lag er unter andern im Jahr 1813 am Tage vor Johannis noch 3 Fufs hoch[3]. In Lappland fällt derselbe in solcher Menge, dafs Bedemar einst einen Zweig von 1,5 Lin. Dicke mit einem Schneekamme von 9 Zoll Höhe überdeckt fand, was den Bäumen ein höchst wunderbares Ansehn giebt. Grönlands bewohnte Küsten haben gleichfalls wegen der Nähe des Meeres viel Schnee, dessen Menge ausnahmsweise bis ins Unglaubliche wächst. Nach dem Tagebuche der mährischen Missionäre[4] lag zu Okkak in der Nähe der Colonie Herrenhut am Ende des Mai 1791 noch zehn Fufs hoher Schnee und an einer Seite der Kirche am 17. Mai noch 20 Fufs hoch. In den meisten Fällen sind aber die hohen Lagen Schnee, die man antrifft, zugleich eine Folge der Anhäufung desselben durch den Wind, welcher ihn während und nach seinem Herabfallen an Orten, wo sich ein Widerstand zeigt, oder in Niederungen zusammentreibt. Als eine seltene Merkwürdigkeit bemerkte Cleaveland[5] einst zu New Brunswik, dafs der vom Winde bewegte Schnee zu

---

1 View of the Valley of Mississippi or the Emigrants and Traveler's Guide to the West cet. Philad. 1834. p. 80.

2 Reisen Th. I. S. 420.

3 Bedemar Reisen. Th. II. S. 107 u. 164.

4 Voigt's Mag. Th. IX. S. 459.

5 Silliman Amer. Journ. VI. 162. G. LXXVI. 343.

Ballen aufgerollt wurde, die auf beträchtliche Strecken fortgetrieben stets ein lockeres Gefüge beibehielten.

Die Menge des Wassers, welches der Schnee giebt, oder die Wasserhöhe, welche aus einer gewissen Höhe des gefallenen Schnees durch Aufthauen entsteht, ist kaum überall bestimmbar, weil dieses Ergebnifs zu sehr von der Beschaffenheit des Schnees abhängt. Bei strenger Kälte, und wenn derselbe bei nördlichen und nordöstlichen Winden fällt, ist er ausnehmend locker und läfst sich kaum fest zusammenballen. In diesem Falle giebt er wenig Wasser, und weil die vorherrschende Luftströmung zugleich auf die Witterungsdisposition zur Kälte deutet, so beruht hierauf die bekannte Probe, dafs man einen Schneeball über eine Lichtflamme hält und auf einen strengen Winter rechnet, wenn das Wasser aus ihm nicht herabtröpfelt, sondern durch die wegen der Härte der Krystalle stets noch lockere Masse aufgesogen wird. Solcher Schnee kann beträchtlich hoch liegen, ohne aus der angegebenen Ursache, und weil das Wetter im Ganzen zu nördlichen, trocknen Winden geneigt ist, beim Aufthauen vieles Wasser zu geben, worauf sich das Sprüchwort gründet: viel Schnee — wenig Wasser, wenig Schnee — viel Wasser. Eben daher sind die Bestimmungen über das Verhältnifs beider Grö-

fsen zu einander so verschieden, dafs es kaum möglich ist, ein mittleres, genähertes Resultat zu erhalten. Cotte nimmt nach den Beobachtungen von Sedileau[1] dieses Verhältnifs wie 1 zu 5 bis 6 an; nach de la Hire[2] ist dasselbe bald wie 1 zu 3,333, bald wie 1 zu 5 oder 6, bald wie 1 zu 12, woraus im Mittel 1 zu 6,6 folgen würde. Musschenbroek folgert aus einer zu Utrecht von ihm angestellten Messung wie 1 zu 24, Kraft[3] setzt dasselbe für gewöhnlich wie 1 zu 2,25, bei grofser Dichtigkeit des Schnees aber wie 1 zu 1,57, und ebenso nimmt Celsius[4] für den ersten Fall dasselbe wie 1 zu 11, im letzteren aber wie 1 zu 2,8 an. Am genügendsten sind die Bestimmungen von van Swinden[5], die sich auf zahlreiche Mes-

1 Mém. de l'Acad. 1692.
2 Ebend. 1692, 1693 u. 1711.
3 Comment. Petrop. XIV. p. 213.
4 Acta Liter. Suecicae. T. III. p. 41.
5 Journ. de Phys. T. VIII. p. 330.

Digitized by Google

sungen gründen, wonach das Verhältnifs der Dichtigkeit des Schnees zum Wasser im Minimum wie 1 zu 19, im Maximum wie 1 zu 5,56 ist, woraus ein mittleres Verhältnifs von 1 zu 9,66.... oder in genähertem Werthe wie 1 zu 10, für die meisten Fälle anwendbar, hervorgeht. Neuerdings hat Quetelet[1] diese Frage zum Gegenstande wiederholter Untersuchungen gemacht, wobei er die Absicht hatte, das Verhältnifs zwischen der Gestalt und der Dichtigkeit des Schnees aufzufinden, welche Aufgabe jedoch dadurch schwierig wird, dafs nach den Beobachtungen von Scoresby verschieden gestaltete Flocken meistens vereinigt herabzufallen pflegen. Quetelet's Messungen bestätigen allerdings den Satz, dafs der Schnee bei gröfserer Kälte lockerer ist, allein auch in dieser Beziehung findet kein allgemeines Gesetz statt, denn der Schnee hatte zwar die gröfste Dichtigkeit von $\frac{1}{2,8}$, als er bei + 1°,3 C. fiel, allein die geringste von $\frac{1}{18,1}$ hatte er bei einer Temperatur von — 1°,0 C., und bei der tiefsten von — 12°,5 hatte er blofs $\frac{1}{8,8}$. Zwischen diesen beiden Extremen liegen viele mittlere Werthe, welche sämmtlich im Mittel das Verhältnifs des Volumens des Schnees zu dem des daraus erhaltenen Wassers = 9,0658 mit dem eben gefundenen sehr nahe übereinstimmend geben. Hierbei mufs zugleich berücksichtigt werden, dafs der frisch gefallene Schnee am lockersten ist, allmälig aber durch seinen eigenen Druck fester wird, wozu noch der Einfluſs der Sonnenstrahlen kommt, die einen Theil desselben auf der Oberfläche erweichen, welcher zusammensinkt und durch die nachfolgende Kälte wieder gefriert, so dafs im Verlaufe der Zeit eine zunehmend dickere und stets fester werdende *Schneekruste* entsteht, die zuweilen so hart wird, dafs man über sie hingehn kann, ohne sie zu zerbrechen und in den unterhalb befindlichen lockeren Schnee einzusinken. Aufserdem verdunstet derselbe stets, und seine Menge nimmt daher um so mehr ab, je länger er liegt und je trockner während dieser Zeit die Luft bei nördlichen und östlichen

---

1 L'Institut. 1834. N. 59. Aus Annuaire de l'Observ. de Brux. 1834.

Winden ist. Auf hohen Bergen, in Thälern und in waldigen Gegenden erhält er sich daher sehr lange und speiset das ganze Jahr hindurch die perennirenden Quellen und die hieraus entstehenden Flüsse. Als schlechter Wärmeleiter schützt er die Pflanzen gegen das Erfrieren und gewährt sogar den Füfsen der Jäger und den Bewohnern der unter ihm befindlichen Hütten oder Gruben ein Schutzmittel gegen zu strenge Kälte. Ebendeswegen genügt es auch, die Oeffnungen der Keller im Winter mit einer starken Lage Schnee zu verschliefsen, auf dessen Oberfläche Wasser mit einer Giefskanne gespritzt wird, um eine feste Kruste zu erzeugen, die gegen das Zerstreuen desselben sichert.

Das Wasser des Schnees ist, wie das der Hydrometeore überhaupt[1], im Allgemeinen rein und blofs ausnahmsweise, wie das des Regens, mit heterogenen Substanzen vermischt. Man hielt früher und hält auch noch jetzt dasselbe sehr allgemein für ein vorzügliches Beförderungsmittel der Vegetation, indem man ehemals diese Eigenschaften den Salzen zuschrieb, die in demselben enthalten seyn sollten. Als man die Nichtigkeit dieser Hypothese eingesehn hatte, glaubte Hassenfratz[2] diese Wirkung von einer gröfsern Menge darin enthaltenen Sauerstoffgases ableiten zu können, welches das Wachsthum der Pflanzen befördern sollte. Carradori[3] hat jedoch durch directe Versuche bewiesen, dafs das Schneewasser vielmehr ärmer an Sauerstoffgas ist, was schon daraus von selbst folgt, dafs die enthaltene Luft aus dem Wasser beim Gefrieren entweicht. Hiernach müssen wir also das Schneewasser als solches für indifferent hinsichtlich der Vegetation halten, aufser dafs es durch seine langsamere Erzeugung tiefer in den Erdboden eindringt und diesen daher längere Zeit feucht erhält. Im Ganzen ist es durch die Kälte, die gleichfalls lange bei ihm dauert, der Vegetation nachtheilig, da diese im Frühjahre erst üppig zu werden pflegt, wenn ein warmer Regen erfolgt ist. Wenn man aber Fruchtbarkeit nach beträchtlichem Schnee erwartet, so ist dieses wohl eine irrige Voraus-

---

1 Vergl. *Regen*. Bd. VII. S. 1220.

2 Journ. de l'École Polyt. Cah. 4. Journ. de Phys. XLVIII. p. 375.

3 Journ. de Phys. XLVIII. p. 226. LIII. p. 98.

Digitized by Google

setzung, da manche Sommer ohne allen vorausgegangenen Schnee sehr fruchtbar sind, oder die Ursache möchte in Vergleichung mit schneelosen kalten Wintern in dem Schutze liegen, welchen er den Winterpflanzen gewährt. Die Oekonomen halten aufserdem nicht sowohl den Schnee, als vielmehr das Gefrieren des Erdbodens (nur nicht das trockne, welches nachtheilig ist) deswegen für vortheilhaft, weil er dadurch lockerer werden soll.

Der Schnee, aus sehr feinen und locker zusammengefügten Krystallen des fast gänzlich farblosen Wassers gebildet, ist nach dem Fallen blendend weifs, etwas weniges sanft ins Bläuliche spielend, wodurch der bei vollkommenem Weifs so leicht erzeugte Uebergang in Gelb (wie bei weifsen Zeugen) vermieden wird. Hiernach reflectirt er vieles Licht, erhellet daher in dunkeln Nächten die Gegenden, wird aber durch das viele reflectirte Tags- oder gar Sonnenlicht den Augen unangenehm, so dafs er sogar Entzündungen, in nördlichen Gegenden die sogenannte *Schneeblindheit*[1], erzeugt. In sehr seltenen Fällen ist der Schnee durch Substanzen gefärbt, die mit ihm zugleich herabfallen, wie die bereits erwähnten Insecten, oder durch etwas vulcanische Asche, die ihm schon in höhern Regionen zufällig beigemengt seyn kann, oder auch durch mechanisch fortgerissenen Staub, wie dieses bei dem röthlichgelb gefärbten Schnee und Hagel ausnahmsweise der Fall war, welcher 1813 in und bei Arezzo in grofser Menge fiel und nach Fabroni's[2] Untersuchung eine gewisse Quantität einer feinen erdigen Substanz enthielt, die hauptsächlich aus Thon, wenig kohlensaurem Kalk, noch weniger Eisen und etwas Braunstein nebst thierischer und vegetabilischer Substanz bestand. Auf den höchsten Bergspitzen behält er diese blendend weifse Farbe stets bei, auf Abhängen, in der Ebene und in Niederungen aber führt der Wind aufgehobenen Staub über ihn, wonach er ein schmuziges, bald graues, bald röthliches oder gelbliches Ansehn erhält, je nach der Beschaffenheit der ihn bedeckenden Substanzen.

Abstrahiren wir von denjenigen Substanzen, welche zuweilen sowohl mit dem Regen als auch dem Schnee vereint

---

1 Vergl. *Gesicht* Bd. IV. S. 1417.

2 Ann. de Chim. T. LXXXVIII. p. 146.

herabgefallen sind und worüber bereits gehandelt ist[1], so hat vorzüglich der rothe Schnee die Aufmerksamkeit der Naturforscher rege gemacht. Man hat denselben schon lange gekannt, obgleich unter dem von Plinius[2] erwähnten rothen Schnee blofs röthlich gelb beschmuzter zu verstehn ist, welchen man häufig, namentlich in Italien, findet. Hiernach ist dann Th. de Saussure[3] der erste, welcher ihn 1760 in den Alpen sah und beachtete; allein die wichtigern Untersuchungen der Naturforscher über das färbende Princip desselben begannen erst, nachdem Capt. Ross denselben 1819 in grofser Menge unter 75° 54′ N. B. in der Baffinsbay gefunden hatte. De Saussure fand, dafs die färbende Substanz der Alpen auf Kohlen einen Geruch nach Pflanzenstoffen gab, und schlofs daher hieraus sowohl, als auch aus ihrem Verhalten in Alkohol, dafs sie vegetabilischer Natur seyn müsse, etwa irgend ein Blüthenstaub, ohne dafs er jedoch anzugeben wufste, wie ein solcher zu jenen Höhen, die von aller Vegetation entblöfst waren, gelangen könnte. Später fand Ramond[4] auf den Spitzen der Pyrenäen in Höhen von 2000 bis 2400 Metern im Frühjahre da, wo das Wasser des aufthauenden Schnees Furchen gebildet hatte, diese röthlich gefärbt und sammelte aus kleinen Vertiefungen eine genügende Menge des färbenden Pulvers, welches mit dem Schnee vermengt beim Aufthauen zu Boden fiel, getrocknet und auf Kohlen geworfen bei geringerer Hitze nach Opium und den Wurzeln der Cichoriengewächse roch, bei stärkerer Hitze sich aufblähete und sich wie vegetabilischer Stoff verhielt. Zugleich fand er jedoch kleine dunkelrothe Blättchen, die die rothe Farbe erzeugten, und hielt diese für Glimmer, wonach er also schlofs, dafs die Einwirkung der Sonne und der Frühlingsluft eine Zersetzung der Felsen bewirke, die den Glimmer hergäben; auch meinte er, dafs de Saussure am Montblanc deswegen keinen rothen Schnee gefunden habe, weil der Granit der Spitze desselben keinen Glimmer enthält. Diese Hypothese

---

1 S. Art. *Regen.* Bd. VII. S. 1231.

2 Hist. nat. L. XI. p. 35. Ipsa nix vetustate rubescit.

3 Voyage. ed. 4to. T. IV. p. 205.

4 Mém. de l'Inst. T. V. p. 417. Gehlen N. Journ. T. VI. p. 239.

Digitized by Google

mufste als nichtig erkannt werden, sobald Ross[1] im hohen Norden, wo gar keine Felsen mit Glimmer vorhanden sind, den rothen Schnee auf Hügeln fand, die etwa eine englische Meile lang und gegen 600 F. hoch waren, und wo die rothe Farbe bis auf den Grund, zuweilen bis zu einer Tiefe von 12 Fufs reichte. Diese Angabe, an sich unwahrscheinlich, wird jedoch von andern mit ihm auf dem Schiffe Alexander reisenden Beobachtern bestritten, welche behaupten, dafs er nie tiefer als bis 1 oder höchstens 2 Zoll tief gefunden worden sey.

Bauer[2] hielt die färbende Substanz für vegetabilisch, setzte einen Theil der mitgebrachten wiederholt zu Kiew-Green einer geeigneten Kälte auf Schnee und von demselben umgeben aus, und fand, dafs dieselbe wuchs und aus einer Art kleiner Schwämme von $\frac{1}{1600}$ bis $\frac{1}{1200}$ Zoll Durchmesser bestand, die gröfsten neu erzeugten erreichten einen Durchmesser von $\frac{1}{100}$ Zoll. Die neuen waren zuweilen ungefärbt, wurden beim heftigen Gefrieren, vom Schnee entblöfst, schwarz, ohne jedoch die Kraft der Vegetation zu verlieren, bei gröfserer Wärme erzeugten sie eine Art grüne Substanz. Robert Brown war der Meinung, die Substanz sey der *Tremella cruenta* der englischen Botaniker sehr verwandt und gehöre zu den Algen, statt dafs Bauer sie für eine Art *Fungus* erklärte und als *uredo* mit dem Namen *uredo nivalis* benannte. Nach der Aussage des Prior Biselx ist der Schnee auf der Spitze des Bernhard nur bis auf 1 oder 2 Zoll tief röthlich gefärbt, die Färbung nimmt mit der Zeit zu und nie hat jemand so gefärbten Schnee herabfallen gesehn. Von dem in der Nähe des Hospitiums gesammelten rothen Schnee untersuchte Peschier zu Genf eine Quantität, und glaubt diesemnach, die Ursache der Färbung sey eine doppelte; theils bestehe der rothe Stoff aus sehr feinem Eisenoxyd, theils aus einer feinen harzigen, vegetabilischen Substanz, gelbroth und wahrscheinlich den Kryptogamen angehörig, etwa den Algen oder den Lichenen. Zugleich meint er, dafs das färbende Eisen wohl in den

---

1 John Rofs Entdeckungsreise u. s. w. Uebers. von Nemnich. Leipz. 1820. 4. S. 75. Auf einer der Tafeln ist der Schnee durch Zeichnung dargestellt.

2 Phil. Trans. 1820. P. II. p. 165.

Pflanzen enthalten seyn möge[1]. Decandolle[2] hat die Kügelchen des Alpenschnees mit denen verglichen, die von Ross mitgebracht wurden, und beide für identisch erklärt, glaubt aber nicht, dafs sie zum Geschlecht *uredo* gehören, sondern ein eignes bilden. Agardh[3] zu Lund verglich eine wohl erhaltene Probe der durch Ross mitgebrachten färbenden Substanz mit einer andern, die Baron Wrangel in der Provinz Nerike auf weifsem Kalkstein als eine feine Kruste gefunden, zu den Lichenen gerechnet, und *Lepraria kermesina* genannt hatte. Nach seiner angestellten Prüfung sind beide identisch, gehören jedoch weder zum Geschlecht *uredo*, noch zu dem von *lepraria*, sondern zu den Algen, unter denen sie eine eigene Species bilden, die Agardh *Protococcus kermesinus* genannt hat. Dieser Naturforscher meint zugleich, es lasse sich bei den Algen nicht eigentlich bestimmen, ob sie zum Thierreiche oder zum Pflanzenreiche zu rechnen sind, Macaire Prinsep und Marcet[4] aber folgern aus ihrer Analyse, dafs die roth färbenden Kügelchen zum Thierreiche gehören, und auf jeden Fall Gelatina enthalten. Parry sah auf seiner Entdeckungsreise nach dem Nordpole den Schnee insbesondere in den Furchen der Schlitten häufig roth, oder gelblich gefärbt, und leitet diese Färbung gleichfalls von der durch Ross beobachteten Substanz ab, allein Scoresby[5] ist der Meinung, dafs diese von einer Thierart herrühre, die sich häufig in den nördlichen Polarmeeren findet, und auch dem Eise, eben wie dem darauf liegenden Schnee eine rothe, gelblichrothe oder gelbe Farbe giebt. Nach mikroskopischen Untersuchungen sind diese Thierchen braunroth, länglicht von $\frac{1}{2100}$ und $\frac{1}{3760}$ Zoll Durchmessern, und färben zuweilen ganze Strecken der See, da nach Zählung in einem Tropfen wenigstens 12960 derselben enthalten waren[6].

M.

---

1 Bibl. univ. T. XII. p. 254. Ann. Ch. Phys. T. XXI. p. 416. G. LXIV. 318.

2 Ann. Ch. Phys. T. XXVII p. 134.

3 Edinb. Journ. of Science. N. VII. p. 167.

4 Mém. de la Soc. de Physique de Genève. T. IV. p. 185. Vgl. Bibl. univ. XXXIX. 290.

5 Edinb. Phil. Journ. N. S. N. XI. p. 54.

6 Eine ausführliche Untersuchung über das färbende Princip des

Digitized by Google

Schraube.

Cochlea; Vis; *Screw.*

Die Schraube gehört in der Mechanik zu der Fundamentalmaschine der geneigten Ebene, aus welcher sie ohne Weiteres abgeleitet wird, so dafs ihre Construction sehr einfach ist und es dabei nur auf Klarheit und Leichtigkeit der Darstellung ankommt. Man findet diese in allen Handbüchern der Mechanik fast genau mit einander übereinstimmend, vorzugsweise anschaulich ist die Sache durch Brix[1] dargestellt, dem ich im Wesentlichen meistens folge.

Man denke sich einen Cylinder AF mit geraden Endflächen und die Oberfläche desselben in eine Ebene ausgebreitet, so giebt diese den Rectangel AFF′A′, dessen eine Seite AA′ dem Umfange und die andere Seite A′F′ der Höhe des Cylinders gleich ist. Theilt man die beiden Seiten AF und A′F′ in gleiche Theile und zieht man die schrägen Linien AB′, BC′...., um diese Theile mit einander zu verbinden, wickelt man hernach die Ebene wieder um die Cylinder, so fallen die beiden Seiten AF und A′F′ in eine mit der Axe des Cylinders parallele Linie zusammen, und die schrägen Linien bilden eine Linie doppelter Krümmung Aa, Bb...., welche die *Schraubenlinie* (*Helix*; Filet de la vis; *Thread of the screw*) heifst und beliebig oft wiederkehrend die *Schraube* bildet. Eine gerade Berührungslinie an irgend einem Puncte der Schraubenlinie schneidet jede auf die Axe des Cylinders senkrechte Ebene unter einem gleichen Winkel, und dieser ist kein anderer, als der Winkel α, welchen die Linie AB′ mit der Seite AA′ bildet und welcher die *Neigung der Schraubenlinie* heifst. Wird irgend ein biegsamer prismatischer Körper, wozu man in der Regel ein vierkantiges oder ein drei- Fig. 270.

Schnees, worin zugleich die bekannten Analysen und ein Auszug aus einer Schrift von Nees von Esenbeck über diesen Gegenstand mitgetheilt werden, die Substanz aber mindestens in den meisten Fällen kosmischen Ursprungs seyn soll, von Schweigger befindet sich in dessen Journal XLIV. 437.

1 Elementar-Lehrbuch der dynamischen Wissenschaften. Th. I. S. 387.

kantiges Prisma nimmt, in der Richtung der Schraubenlinie um den Cylinder so gelegt, dafs eine seiner Seiten dicht anschliefst, so heifst dieser von A bis B, also von einer durch die Axe des Cylinders gelegten Ebene anfangend bis wieder zu dieser Ebene fortlaufend, ein *Schraubengang* (*Helix*; Filet de la vis; *Spire*); die fortgehenden Schraubengänge heifsen ein *Schraubengewinde*, der Cylinder wird hierdurch zur *Schraubenspindel* und das Ganze zur Schraube. Die Schraubengänge sind entweder nach aufsen hervorragend und bilden so die *männliche Schraube* (*Cochlea mas*, *cochlea exterior*; Vis mâle, Vis extérieure; *Screw*), oder sie sind in einen nach der Dicke der Schraubenspindel durchbohrten Körper eingeschnitten und bilden die *weibliche Schraube*, die *Schraubenmutter* (*Cochlea femina*, *cochlea interior*; Vis femelle, vis intérieure, écrou; *Nut of the screw*, *concave screw*), der Kreis, welcher die gerade Fläche des Cylinders begrenzt, heifst der *Umfang der Spindel* (*Peripheria cochleae*; tour de la vis), der Abstand zwischen zwei Windungen die *Höhe der Schraubengänge* (*Distantia helicum*; Pas de la vis; *Distance of the spires*).

Die gewöhnlichen Schrauben bestehn aus einer Spindel, um welche ein dreikantiges Prisma gewunden ist, wie DE, Fig. 271. weil diese sich bequemer und schneller schneiden lassen, für stärkere Wirkungen wählt man aber ein umgewundenes vierkantiges Prisma, wie AB, bei beiden ist für die bessere Wirksamkeit erforderlich, dafs der umgewundene Körper durchaus gleichmäfsig gestaltet sey und in jedem einzelnen Puncte eine gleiche Neigung gegen eine auf die Axe der Spindel normale Ebene habe. Die Güte der Schraube, welche auf diesen Bedingungen, desgleichen auf dem gehörigen Verhältnisse der Dicke des umgewundenen Körpers zum Durchmesser der Spindel und der zu hebenden Last und endlich auf der Dauerhaftigkeit des Materials beruht, hängt von der Geschicklichkeit des Künstlers ab und bedingt ihren sehr ungleichen Werth. Dabei wird allgemein vorausgesetzt, dafs die Schraubengänge vollkommen genau in die Vertiefungen der Schraubenmutter passen. Bei der Anwendung der Schraube wird entweder die Spindel um ihre Axe gedreht, oder die Mutter um die Spindel; in beiden Fallen werden die beiden zu einander passenden geneigten Ebenen auf einander hin geschoben,

Digitized by Google

um damit irgend eine Last zu überwältigen. Um daher die bei der Schraube in Betrachtung kommenden mechanischen Gesetze aufzufinden, darf man nur die Aufgabe so stellen, als solle das Verhältnifs der Kraft gefunden werden, womit eine gegebene Last auf der geneigten Ebene zum Gleichgewichte kommt. Berücksichtigt man zuerst die Schraube A B, wobei die Form einer geneigten Ebene am vollständigsten gegeben ist, so sey die zu hebende Last = P und die Anzahl der schiefen Ebenen, deren Länge man der Bequemlichkeit wegen einem einzelnen Schraubengange gleich setzen kann, = n, so ist die auf jede schiefe Ebene drückende Last $= \frac{1}{n}$ P. Heifst dann ferner die dieser das Gleichgewicht haltende Kraft = q, der Neigungswinkel der Schraubengänge = α, so ist nach dem Gesetze der geneigten Ebene[1]

$$n \cdot q = P. \text{ Tang. } \alpha, \text{ also } q = \frac{1}{n} P. \text{ Tang. } \alpha.$$

Ist die Kraft am Ende des willkürlich langen Hebelarmes A C angebracht, dessen Richtung als lothrecht auf die Axe der Schraubenspindel angenommen wird (dessen Ende aber selbst im Umfange der Spindel liegen kann, wenn man diese zwischen den Fingern umdreht), berücksichtigt man ferner, dafs diese Kraft q der Last n mal entgegenwirkt, und setzt man den lothrechten Abstand der geometrischen Axe der Spindel bis zur Mitte des Schraubenganges = r, so ist

$$nq \cdot r = n \frac{1}{n} P. \text{ Tang. } \alpha \cdot r = r \cdot P. \text{ Tang. } \alpha,$$

und ebenso grofs mufs die Kraft seyn, welche dieser Last das Gleichgewicht hält. Nennen wir diese Q und die Länge des Hebelarmes A C, an dessen Ende sie wirkt, = R, so ist also

$$RQ = rP. \text{ Tang. } \alpha \text{ und } Q = \frac{r}{R} P. \text{ Tang. } \alpha.$$

Drückt A A′ die mittlere Peripherie = $2r\pi$ der Schraubenspindel aus, A′ B′ = a b die Höhe eines Schraubenganges = h und α den Neigungswinkel der schiefen Ebene, so ist Fig. 270.

$$\text{Tang. } \alpha = \frac{A'B'}{AA'} = \frac{h}{2r\pi},$$

---

1 S. *Ebene*. Bd. III. S. 67.

welches substituirt giebt

$$Q = \frac{Ph}{2R\pi}.$$

Diese Demonstration pafst in ganzer Strenge nur auf die Schraube AB, nicht aber auf DE, wobei die geneigte Ebene zugleich schräg ist, man kann aber diesen durch den Parallelismus beider Ebenen verschwindenden Unterschied übersehn oder mit Bairx zum Cartesischen allgemeinen Gesetze[1] seine Zuflucht nehmen. Bei einer Umdrehung der Schraube hat ihr Angriffspunct den Weg $= 2R\pi$ zurückgelegt, während die Last P um die Höhe eines Schraubenganges $=$ h gehoben ist, und es folgt also hieraus das Verhältnifs der Kraft zur Last

Fig. 271.

$$Q : P = h : 2R\pi.$$

Es ist demnach Gleichgewicht vorhanden, *wenn sich die Kraft zur Last verhält wie die Höhe eines Schraubenganges zu der vom Angriffspuncte der Kraft durchlaufenen Peripherie* oder, wenn dieser Angriffspunct im Umkreise der Schraubenspindel liegt, *zum Umfange der Schraubenspindel.* Hiernach verhalten sich Kraft und Last umgekehrt wie die von beiden durchlaufenen Wege, so dafs bei der in gleichen Zeiten erfolgenden Umdrehung beider an Geschwindigkeit so viel verloren, als an Kraft gewonnen wird. Kaestner[2] und andere Geometer wollten den Umstand mit in die Theorie aufnehmen, dafs der umgewundene Körper nicht hinlänglich scharf mit der geneigten Ebene verglichen werden könne, weil er beim Umwinden seine Gestalt ändere und nicht stets die nämliche Neigung gegen eine durch die Axe der Schraubenspindel gelegte lothrechte Ebene beibehalte; allein dieses darf bei der mathematischen Construction nicht angenommen werden, und würde ein Fehler des ausübenden Künstlers seyn, wenn es sich in der Wirklichkeit fände.

Aus der Theorie folgt, dafs man die Kraft der Schrauben zunehmend erhöhen könne, wenn man den Umfang der Spindel vermehrt und die Höhe der Schraubengänge vermindert. Beides hat in der praktischen Anwendung seine Grenzen, denn wenn man wegen der Festigkeit des Materials dieselben von Metall verfertigt, so werden sie durch gröfsern

---

1 Vergl. *Hebel.* Bd. V. S. 108.

2 Dissert. math. et phys. Altenb. 1771. 4. N. 6.

Digitized by Google

Umfang der Schraubenspindel leicht zu schwer, zu mühsam zu schneiden und durch beides zugleich zu kostbar. Die Höhe der Schraubengänge darf aber unter ein gewisses Minimum nicht herabsinken, welches durch die Haltbarkeit derselben gegeben wird. Es müssen nämlich die Zwischenräume zwischen den Schraubengängen auf gleiche Weise vertieft seyn, als die Schraubengänge selbst erhaben sind, und wenn daher 144 Windungen auf einen Zoll Länge kommen, wie bei den feinen, zum genauen Messen der kleinsten Abstände bestimmten Schrauben, den sogenannten *Mikrometerschrauben*, durch Repsold zu Hamburg und noch wohl mehr als dieses durch Fraunhofer wirklich ausgeführt wurde, so beträgt die Dicke des dreikantigen Schraubenganges in der Mitte nur $\frac{1}{288}$ Linie, ist also ebenso fein als Postpapier und kann nicht wohl vermindert werden, wenn selbst der feinste Stahl noch genügende Haltbarkeit behalten soll. Das genaue Schneiden solcher Schrauben, so dafs die Gänge insgesammt in höchster Schärfe von gleicher Dicke und von gleichem Abstande sind, erfordert bei den geübtesten Künstlern die Anwendung mehrfacher feiner Kunstgriffe in Verbindung mit der gröfsten Aufmerksamkeit und durch Uebung erlangter Fertigkeit[1].

Die mitgetheilten Figuren zeigen die Schrauben in derjenigen Gestalt, wie sie meistens angewandt werden, weil hierdurch sogleich die Bequemlichkeit erreicht wird, den Hebelarm am Kopfe der Schraube anzubringen. Eine ähnliche Gestalt giebt man den Schrauben bei den vielfachen Anwendungen derselben, wobei stets die Schraubenspindel umgedreht wird. Seltener ist die Einrichtung, dafs sich die Mutter um die Spindel dreht, wobei erstere entweder ihren Ort nicht verändert, dagegen aber durch die gehobene oder herabgedrückte Spindel die erforderliche Kraft ausübt, oder auf der unbeweglichen Spindel herauf- oder herabsteigt und dabei die Last hebt oder herabdrückt, wie bei den Pendelstangen die

1 Vorzüglich brauchbare Maschinen zum Schneiden der Schrauben nebst einer Anweisung des erforderlichen Verfahrens von Clark findet man in Edinb. Journ. of Science N. Ser. N. IV. p. 273. Sehr gehaltreiche Untersuchungen über die verschiedenen Arten von Schrauben und deren Verfertigung hat Altmütter in Jahrb. des Wien. polyt. Instituts IV. 363. mitgetheilt. Vergl. ebend. V. 204.

Linsen gestellt werden. Ein Fall der erstern Einrichtung ist durch die Zeichnung erläutert. Fig. 272.

Um zur Erzeugung einer grofsen Kraft den Hebelarm nicht zu lang zu machen, befestigt man in denjenigen Fällen, wo eine vorzüglich starke Wirkung verlangt wird, an das Ende desselben ein Seil, schlingt dieses um eine Winde und dreht diese vermittelst eines langen Hebelarmes um. Vermittelst solcher vermehrter Hebelverbindungen läfst sich die Gewalt der Schrauben so sehr steigern, dafs selbst bei solchen eisernen, die 4 bis 6 Zoll im Durchmesser haben, die Muttern zerreifsen oder die Schraubengänge zerbrochen werden. Die Kraft der Schrauben kann jedoch auch ohne die Vermehrung der Länge des Hebelarmes erhöht werden, wenn man zwei Schrauben mit einander verbindet, wie W. Hunter erfunden und Melville[1] bekannt gemacht hat. Diese Einrichtung, wie sie bei einer Presse angebracht werden kann, ist in der Zeichnung dargestellt. Die Schraube A wird in ihrer Mutter umgedreht, die in die obere Querleiste geschnitten ist, die Schraube B hat das ihr zugehörige weibliche Gewinde im Innern der ersten und ist an ihrem untern Ende vermittelst des durchgesteckten Riegels CD auf dem in verticaler Richtung beweglichen Deckel der Presse befestigt. Eine andere Einrichtung erhält die Schraube, wenn beide Gewinde auf dem nämlichen Cylinder geschnitten sind und jedem ein eigenes weibliches Gewinde zugehört, welche beide sich zwar nicht drehen, wohl aber einander nähern und von einander entfernen lassen, welches beides geschieht, wenn die gemeinschaftliche Spindel nach der einen oder der entgegengesetzten Richtung umgedreht wird. Die Theorie dieser Schraube ist höchst einfach. Ist nämlich die Höhe des einen Schraubenganges $= H$, die des andern $= h$, so ist nach der oben angegebenen Formel Fig. 273.

$$Q : P = H - h : 2 R \pi.$$

Hätte z. B. die Spindel am einen Theile 10 Schraubengänge auf einen Zoll, am andern 12, so würde der zu bewegende Körper durch eine Umdrehung um $\frac{1}{10}$ Zoll gehoben und gleichzeitig um $\frac{1}{12}$ Zoll herabgedrückt, also im Ganzen um

$$\frac{1}{10} - \frac{1}{12} = \frac{2}{120} = \frac{1}{60}\text{stel Zoll}$$

---

1 Phil. Trans. 1781. T. LXXI. p. 58.

gehoben und durch entgegengesetzte Drehung herabgedrückt werden. Solche Schrauben können wegen des geringen Raumes, den der bewegte Körper durchläuft, auch zu Mikrometerschrauben von gröfster Feinheit gebraucht werden, das Schneiden derselben erfordert aber eine grofse Sorgfalt und Geschicklichkeit.

Aufser den bisher betrachteten Schrauben mit einfachem Gewinde giebt es auch solche mit zwei und auch drei Gewinden, überhaupt könnte deren Zahl beliebig grofs seyn, man geht jedoch in der Wirklichkeit selten über die dreifachen oder höchstens die vierfachen Schraubengänge hinaus. Man theilt bei solchen Schrauben für n Schraubengänge den Umfang der Grundfläche der Schraubenspindel in n Theile, fängt in jedem dieser Puncte einen neuen Schraubengang an und giebt jedem die nfache Höhe, die ein einfacher haben würde. Die Last wird daher gleichzeitig auf so vielen geneigten Ebenen in die Höhe gehoben, als Schraubengänge vorhanden sind, wonach man also für den Zustand des Gleichgewichts den Ausdruck

$$Q : P = n h : 2 R \pi$$

erhält. Die bei der Umdrehung der Schraubenspindel anzuwendende Kraft mufs also im gleichen Verhältnisse der Zahl der Schraubengänge vermehrt werden, wofür aber die erreichte Höhe um gleich viel zunimmt. Man gebraucht sie also da, wo man die Geschwindigkeit der Bewegung vermehren will, insbesondere aber für Pressen, die beim Nachlassen der Drehung von selbst wieder zurückgehn sollen.

Greifen die Schraubengänge, anstatt sich in den Vertiefungen der weiblichen Schrauben zu bewegen, in die für diesen Zweck gehörig schräg gearbeiteten Zähne eines Stirnrades ein, so ist letzteres als die Last zu betrachten, die auf der geneigten Ebene hinauf bewegt wird. An dem Rade befindet sich dann zugleich eine Welle mit einem Seile, an welchem die zu hebende Last hängt. Vereinigt man daher das für die Räder geltende Verhältnifs[1] mit dem so eben für die Schraube nachgewiesenen und nennt man den Halbmesser der Welle $= r$, den des Rades aber $= \varrho$, so erhält man für den Zustand des Gleichgewichts Fig. 274.

1 Vergl. *Rad.* Bd. VII. S. 1151.

$$Q : P = r h : 2 R \pi \varrho.$$

Da auch hierbei die Längen der Hebelarme willkürlich vermehrt werden können, so läfst sich diese Schraube, die eine *Schraube ohne Ende* (*Cochlea infinita;* vis sans fin; *Endless Screw*) genannt wird, weil sie stets aufs neue wieder in die Zähne des Rades eingreift, zum Heben grofser Lasten mit Anwendung einer geringen Kraft gebrauchen, sie wird aber auch wegen der Langsamkeit der Umdrehung der Welle und des gleichzeitig schnellen Umlaufens der Kurbel zum Messen kleiner Bewegungen gebraucht.

Die Schraube ist wegen der Einfachheit ihrer Construction, des geringen Raumes, den sie einnimmt, und der aufserordentlichen Kraft, die sich damit erzeugen läfst, eine sehr wichtige Maschine. Ehemals hielt man sie für diejenige, womit sich die stärksten Lasten heben liefsen, neuerdings hat man aber gesehn, dafs sie hierin durch die hydraulische Presse noch übertroffen wird[1]. Werden in die oben gegebene Formel zur Vergleichung bestimmte Werthe substituirt und wird also die Kraft des bewegenden Menschen $Q = 30$ ℔, die Höhe des Schraubenganges nur zu 1 Zoll, für R aber ein Hebelarm von 10 Fufs und dieser mit einer Winde verbunden angenommen, die die Kraft abermals um das 10fache vermehrt, so wird in diesem günstigsten Falle

$$P = 30 \times 6{,}283 \times 100 : \tfrac{1}{11} = 226308 \text{ ℔}.$$

und also ein Mensch ohne Rücksicht auf Reibung allerdings die ungeheure Last von 226308 ℔. zu wältigen vermögen; allein diese kommt doch derjenigen bei weitem nicht gleich, die vermittelst der hydraulischen Presse gehoben werden kann. Zudem aber ist die Reibung bei der letztern Maschine nur ungefähr dem vierten Theile der Kraft gleich, bei der Schraubenpresse ist sie aber gröfser, als die ganze Kraft, weil sonst die Schraube beim Nachlassen der Kraft von selbst wieder zurücklaufen müfste, was jedoch nur bei gewissen, für diesen Zweck absichtlich gearbeiteten, geschieht.

Wie stark die Reibung bei einer Schraube anzunehmen sey, scheint mir nicht blofs schwer, sondern überall kaum bestimmbar zu seyn. Indem nämlich die Schraubengänge sich in einander bewegen müssen, so kommt es sehr darauf an, ob

---

1 Vergl. *Presse*. Bd. VII. S. 117.

Digitized by Google

sie sich hierbei nicht klemmen oder zwischen einander gepreſst werden. Eine gut geschnittene Schraube muſs nach dem Eingreifen von etwa 3 bis höchstens 4 Gängen nicht mehr schlottern, und sich dann mit stets nahe unverändertem Widerstande durch mäſsigen Kraftaufwand weiter schrauben lassen, so lange sie noch keine Last zu überwinden hat; zugleich muſs sie augenblicklich ganz fest sitzen, sobald sie auf ein unüberwindliches Hinderniſs kommt, woraus man sieht, daſs namentlich die dreikantigen Schraubengänge sich nicht in einander pressen; allein nur selten oder mindestens nicht allezeit trifft man so vollendet geschnittene Schrauben, vielmehr widerstehn auch die minder schlechten der umdrehenden Kraft selbst bei keiner zu hebenden Last bedeutend. Man vermindert die Reibung durch Schmieren, wozu bei den feinsten, namentlich den Mikrometerschrauben, am besten eine höchst kleine Quantität weiſsen Wachses, bei denen an physikalischen und sonstigen Apparaten aber etwas von der für Luftpumpen geeigneten Pomade[1] (aber kein Oel, insbesondere bei den messingnen), bei den schlechtern Oel oder eine sonstige Fettigkeit, bei groſsen hölzernen Seife oder auch Graphitpulver genommen zu werden pflegt, allein dennoch bleibt sie stets noch bedeutend und auf jeden Fall ihre Gröſse schwer bestimmbar. V. Gerstner[2] nimmt als Reibungs-Coefficienten für geschmierte Körper allgemein $m = \frac{1}{8}$ der Last an, welche Gröſse mit der Länge der reibenden Fläche multiplicirt der Höhe hinzuaddirt werden muſs. Die Länge eines Schraubenganges ist aber $= 2r\pi$, wenn r den Halbmesser bezeichnet, und hiernach wird also mit Einführung des Reibungs-Coefficienten in die oben gegebene Formel

$$P = \frac{Q \cdot 2\pi R}{h + m \cdot 2\pi r}.$$

Setzen wir des Beispiels wegen in diese Formel angenommene Werthe und nehmen wir die Kraft des Arbeiters $Q = 30$ ℔, den Hebelarm $R = 6$ Fuſs, die Höhe des Schraubenganges $h = 1$ Zoll, den Halbmesser der Spindel $r = 2$ Zoll, so wird durch Einführung dieser Werthe

---

1 Vergl. *Luftpumpe*. Bd. VI. S. 612.

2 Handbuch der Mechanik u. s. w. Prag 1831. 4. Th. I. S. 522.

$$P = \frac{30 \times 6{,}283 \times 6}{\frac{1}{12} + \frac{1}{8} \times 6{,}283 \times \frac{2}{12}} = 5278{,}6 \text{ ℔},$$

statt dafs die gehobene Last P ohne Reibung 13571,28 ℔, also mehr als doppelt so viel betragen würde[1].

Bei der Schraube ist die Last auf das ganze Schraubengewinde vertheilt, welches den Vortheil gewährt, dafs ein einzelner Schraubengang nicht die ganze Last zu tragen hat und daher nicht übermäfsig stark seyn mufs. Ist die Stärke des Körpers bekannt, woraus die Schraube gemacht werden soll, und die Last, die sie zu wältigen hat, so läfst sich hieraus die Zahl der Schraubengänge finden, die sie haben mufs, um den erforderlichen Widerstand zu leisten. In der Regel wird man jedoch den Schraubenmuttern eine mehr als genügende Zahl Windungen geben, und da dieses keinen anderweitigen Nachtheil herbeiführt, also keine weitere Regel erfordert, so übergehe ich diese Untersuchung[2].

Soll eine Schraube beim Nachlassen der bewegenden Kraft von selbst zurückgehn, so mufs die Höhe der Schraubengänge so grofs seyn, dafs die Last von selbst auf der geneigten Ebene herabgleitet. Da aber die Reibung die Anwendung von mehr als der ganzen Kraft erfordert oder diese um mehr als das Doppelte vergröfsert, so folgt hieraus, dafs ein doppeltes Schraubengewinde hierzu nicht genügt. Man giebt also solchen Schrauben, z. B. bei den Papierpressen und Münzpressen, ein dreifaches und bei starker Reibung auch wohl ein vierfaches Gewinde.

Die ausnehmend zahlreichen Anwendungen der Schraube

---

1 Nach Lehmus in v. Crelle Journ. Bd. IV. S. 202. ist die Gleichung zwischen Kraft und Last bei der Schraube mit Rücksicht auf Reibung:

$$Q = \frac{h + \mu . 2r\pi}{2b\pi - \mu h} P,$$

wenn Q, P und h die angenommene Bedeutung behalten, r den Halbmesser der Spindel, b die Länge des umdrehenden Hebels und μ den Reibungscoefficienten bezeichnen. Analytische Untersuchungen über die Reibung männlicher und weiblicher Schrauben von Poncelet findet man ebend. Bd. II. S. 233.

2 S. v. Gerstner a. a. O. Th. I. S. 525. Die gehaltreichen Untersuchungen von Bevan über die Stärke, womit Holzschrauben festhalten, in Philos. Mag. and Ann. II. 291. Ann. Ch. Ph. XXXVI. 419., erwähne ich nur beiläufig.

Digitized by Google

bieten dem gröfsten Theile nach kein bedeutendes Interesse dar und es verlohnt sich nicht der Mühe, sie einzeln aufzuzählen oder genau zu beschreiben. Am meisten werden sie zu den zahlreichen Pressen angewandt, deren mehrere bereits im Art. *Presse* namhaft gemacht worden sind. Eine kurze Beschreibung verdienen jedoch die mit Schrauben versehenen Winden, da diejenigen, bei denen ein Rad mit Getriebe angebracht ist, gleichfalls namhaft gemacht worden sind [1]. Es giebt zwei Constructionen derselben, die sich nicht wesentlich unterscheiden; doch wird die eine die französische, die andere die englische genannt, weil sie in beiden Ländern am meisten gebräuchlich sind. Die *französische Winde* (Cric) hat das Gestell nebst dem obern und untern Träger p f und g k mit den deutschen gemein, ausgenommen dafs der obere in 4 Spitzen ausläuft und der untere gleichfalls zwei aufstehende Haken hat, wovon jedoch nur der eine an der einen Seite in der Zeichnung ausgedrückt werden konnte. Auf der festen Unterlage n o ruht dann der abgekürzte Kegel mit der in ihm geschnittenen weiblichen Schraube. Sein oberer Rand ist in Zähne von geeigneter Gestalt ausgeschnitten, in welche die Windungen der Schraube ohne Ende a b eingreifen. Zu gröfserer Deutlichkeit ist dieser unterscheidende Haupttheil der Maschine durch eine besondere Zeichnung deutlich gemacht. Fig. 275. Fig. 276.

Die *englische Winde* oder der englische Heber (*Jack*) hat eine Einrichtung, die sie geeignet macht, die schwersten Lasten zu heben, weswegen sie auch vorzugsweise zum Aufwinden der Dachstühle und zum Heben sonstiger schwerer Lasten angewandt wird. Der Körper und die Tragstange, auf welche die männliche Schraube geschnitten wird, sind wie bei allen Winden, jedoch hat der Körper unten keine Spitzen, sondern ruht auf einer grofsen Fläche, da bei dem Heben so bedeutender Lasten ein Ausgleiten nicht so leicht zu fürchten ist, zu dessen Vermeidung beim schrägen Stande der Winde die Zacken unten angebracht zu werden pflegen. In der obern Fläche ist ein starkes und grofses gezahntes Rad versenkt, in dessen geeignet geschnittene Zähne die Windungen der Schraube ohne Ende a b eingreifen. In der bedeutend dickeren Mitte dieses auf breiter Unterlage ruhenden Rades ist die weibliche Fig. 277. Fig. 278.

---

1 S. Art. *Rad*. Bd. VII. S. 1160.

Digitized by Google

Schraube eingeschnitten, durch deren Umdrehung um die Windenstange diese mit der auf ihr liegenden Last gehoben wird.

Zur Berechnung beider Winden möge zuerst die Bezeichnung der Gröfsen für die Schraube ohne Ende beibehalten werden; es sey dann W der Widerstand an der Schraubenspindel, der Halbmesser des horizontalen Rades $= \varrho$, der Halbmesser der Schraubenspindel $= r$ und die Höhe eines Schraubenganges derselben $= h'$, die ganze zu hebende Last $= P'$, so erhält man

$$\begin{aligned} Q : P &= h : 2\pi R \\ P : W &= r : \varrho \\ W : P' &= h' : 2\pi r \\ \hline Q : P' &= h \times h' : 2\pi R \times 2\pi r. \end{aligned}$$

Ist z. B. $R = 12$ Zoll, $r = 8$ Z., $h = \frac{2}{3}$ Z. und $h' = 1{,}5$ Zoll, so erhält man

$$\begin{aligned} Q : P' &= \tfrac{2}{3} \times \tfrac{1}{2} : 6{,}283 \times 12 \times 6{,}283 \times 8. \\ &= 1 : 3789{,}7. \end{aligned}$$

Man sieht hieraus, was für eine enorme Kraftvermehrung diese Maschinen geben, wenn man die Reibung unberücksichtigt läfst. Die Reibung ist hierbei aber noch gröfser, als bei der einfachen Schraube, denn sie kommt bei beiden Schrauben vor und aufserdem bei den Zapfen der Schraube ohne Ende, vorzüglich aber wächst sie durch diejenige, welche die Scheibe mit der Schraubenmutter erleidet, auf welcher die ganze Last ruht, so dafs nach v. Gerstner die erforderliche Kraft durch die gesammte Reibung ungefähr siebenmal so grofs wird, als sie ohne dieselbe seyn würde.

M.

Schwefel.

Sulphur; Soufre; *Sulphur.* Dieses seit undenklichen Zeiten bekannte, nicht metallische Element findet sich vorzüglich im gediegenen Zustande, in vielen Schwefelmetallen und in schwefelsauren Salzen. Der gediegene Schwefel wird durch Destillation von beigemengter Erde befreit. Aus Schwefelkies und Kupferkies gewinnt man den Schwefel theils durch Rösten, theils durch Erhitzen in irdenen Röhren. Doch

Digitized by Google

bedarf er noch der Reinigung von beigemengten Erz- und Steintheilchen entweder durch Schmelzen, Subsidiren und Decantiren, oder durch Destillation oder durch Sublimation. Der geschmolzene oder der destillirte Schwefel, in Stangenform gebracht, liefert den Stangenschwefel; der sublimirte stellt die Schwefelblumen dar, welchen man die anhängende Säure durch Wasser entziehn kann.

Der Schwefel krystallisirt theils in schiefen rhombischen Oktaëdern, theils, namentlich beim Erkalten nach der Schmelzung, in schiefen rhombischen Säulen, ist also dimorph[1]. Er hat ein spec. Gewicht von 2,000, ist sehr spröde und knistert beim Erwärmen in der Hand durch Bildung von Rissen. Seine blafsgrünlichgelbe Farbe geht bei jedesmaligem Erhitzen in die gelbbraune über; seine lichtbrechende Kraft ist bedeutend. Er schmilzt bei 109° zu einer braungelben öligen Flüssigkeit, wird bei 144° dunkelrothbraun und dickflüssig, wie Terpentin, bei höherer Temperatur wieder dünnflüssiger, und kommt bei 293° ins Sieden, wobei er sich in einen pomeranzengelben Dampf verwandelt. Er leitet nicht die Elektricität und wird beim Reiben stark negativ elektrisch.

Der Schwefel bildet mit Sauerstoff 4 Säuren: die *unterschwefelige Säure* (16 Schwefel auf 8 Sauerstoff) ist nur in einigen Salzen bekannt, aus denen sie durch eine stärkere Säure geschieden sogleich in schwefelige Säure und niederfallenden Schwefel zerfällt.

Die schwefelige Säure (16 Schwefel auf 16 Sauerstoff) entsteht vorzüglich beim Verbrennen des Schwefels. Unter — 10° ist sie eine wasserhelle, tropfbare Flüssigkeit von 1,42 bis 1,45 spec. Gewicht. Da ihr Siedepunct schon bei — 10° C. liegt, so veranlafst ihre Vergasung, besonders im luftleeren Raume, eine bedeutende Erkältung, wodurch sie selbst zum Theil zu weifsen Flocken gefriert. Bei gewöhnlicher Temperatur erscheint die schwefelige Säure als ein farbloses Gas von 2,2186 spec. Gewicht, von dem bekannten erstickenden Geruche des verbrennenden Schwefels, Lackmus röthend, mit einigen andern organischen Farbstoffen farblose Verbindungen eingehend und von $\frac{1}{10}$ Mafs Wasser verschluckbar. Ihre Verbindungen mit Salzbasen werden in der Glühhitze

---

1 Vergl. *Krystallogenie*. Bd. V. S. 1851.

Digitized by Google

sämmtlich zerstört; der Luft im befeuchteten Zustande dargeboten verwandeln sie sich in schwefelsaure Salze; mit stärkerer Säure übergossen entwickeln sie die durch ihren Geruch kenntliche schwefelige Säure.

Die *Unterschwefelsäure* (16 Schwefel auf 20 Sauerstoff) ist nur in ihren Verbindungen mit Wasser und Salzbasen bekannt. Das Hydrat ist eine farblose, schwere, sehr saure Flüssigkeit, welche bei gelindem Erhitzen in sich entwickelnde schwefelige Säure und zurückbleibendes Schwefelsäurehydrat zerfällt. Alle unterschwefelsauren Salze sind im Wasser löslich und zerfallen beim Erhitzen, auf ähnliche Weise wie das Hydrat, in schwefligsaures Gas und schwefelsaures Salz.

Die *Schwefelsäure* (16 Schwefel auf 24 Sauerstoff) sublimirt sich beim Erhitzen des rauchenden Vitriolöls in einer Retorte im wasserfreien Zustande als eine aus weifsen, seidenglänzenden, zarten Nadeln bestehende, amianthartige, zähe, höchst saure und ätzende Masse, von 1,95 spec. Gewicht, bei 24° zu einer öligen Flüssigkeit schmelzend, bei etwas höherer Temperatur einen farblosen Dampf bildend, der jedoch an der Luft, mit deren Feuchtigkeit sich die Schwefelsäure zu Vitriolöl verdichtet, einen äufserst dicken, weifsen, erstickenden Nebel erzeugt. Die Schwefelsäure hat eine sehr grofse Affinität zum Wasser, verbindet sich mit demselben unter heftiger Wärmeentwickelung und Zischen und zieht es begierig aus der Luft an. Mit wenig Wasser bildet sie die concentrirte Schwefelsäure oder das Vitriolöl, mit mehr Wasser die verdünnte Schwefelsäure. Man unterscheidet rauchendes, braunes oder deutsches und weifses oder englisches Vitriolöl. Ersteres wird durch Destillation des vorher an der Luft gerösteten und dadurch in schwefelsaures Eisenoxyd verwandelten Eisenvitriols[1] in irdenen Retorten erhalten; letzteres durch Verbrennen des Schwefels in grofsen, meist mit Bleiplatten ausgekleideten Behältern, den Bleihäusern, die Luft, salpetrige Säure und Wasser enthalten, durch deren gemeinschaftliche Wirkung die durch das Verbrennen des Schwefels gebildete schwefelige Säure in Schwefelsäure verwandelt wird. Diese mischt sich dem auf dem Boden des Bleihauses befindlichen Wasser bei, welches, so oft es hinreichend damit beladen ist,

1 S. *Eisen*. Bd. III. S. 158.

Digitized by Google

in Gefäfsen von Glas oder Platin bis zur möglichsten Concentration abgedampft wird. Das rauchende Vitriolöl ist hellbraun, von 1,896 oder weniger spec. Gewicht, gefriert schon etwas über 0°, stöfst, besonders beim Erwärmen, Dämpfe wasserfreier Schwefelsäure aus und geht daher bei fortgesetztem Erhitzen in gewöhnliches, nicht rauchendes Vitriolöl über. Das englische Vitriolöl, welches etwas mehr Wasser enthält, ist farblos oder sehr blafsbraun, von 1,845 spec. Gewicht, gefriert erst bei — 25°, raucht nicht an der Luft, siedet bei 327° und verdampft hierbei als Ganzes; hält es, wie dieses oft der Fall ist, noch mehr Wasser, so verflüchtigt sich dieses zuerst. Zu manchen Zwecken wird das Vitriolöl durch Destillation gereinigt, rectificirt, wobei man das zuerst Uebergehende entfernt.

Alle Arten von *Vitriolöl* sind ölartig, schwärzen und zerfressen Holz und andere organische Stoffe und mischen sich mit Wasser unter bedeutender Erhitzung, die verdünnte Schwefelsäure bildend, deren spec. Gewicht mit ihrem Gehalte an Schwefelsäure abnimmt. Die Schwefelsäure hat gegen die Salzbasen eine der gröfsten Affinitäten. Die meisten schwefelsauren Salze halten für sich die Glühhitze ohne Zersetzung aus, werden aber in Berührung mit Kohle und andern brennbaren Stoffen zersetzt und meistens zu Schwefelmetallen reducirt. Die am wenigsten in Wasser löslichen schwefelsauren Salze sind die des Baryts, Strontians und Bleioxyds, besonders der schwefelsaure Baryt, daher lösliche Barytsalze häufig als Reagentien für Schwefelsäure und umgekehrt Schwefelsäure für Baryt angewandt werden.

Mit Wasserstoff erzeugt der Schwefel folgende 2 Säuren: *Die hydrothionige Säure* (80 Schwefel auf 1 Wasserstoff) ist eine schwere, ölige, bräunlichgelbe, durchsichtige Flüssigkeit, von Schwefelgeruch und heifsem bitterem Geschmack, leicht in sich entwickelnde Hydrothionsäure und zurückbleibenden Schwefel zerfallend, nicht in Wasser löslich. Von ihren Salzen kennt man blofs die hydrothionigsauren Alkalien, welche in wässeriger Gestalt gelbbraune Flüssigkeiten darstellen, durch den Sauerstoff der Luft unter Fällung von Schwefel in unterschwefeligsaure Alkalien sich verwandelnd und bei Zusatz überschüssiger Salzsäure die unzersetzte hydrothionige

Digitized by Google

Säure absetzend, während durch weniger Salzsäure unter Entwickelung von Hydrothionsäure Schwefel gefällt wird.

Die *Hydrothionsäure* oder *Schwefelwasserstoffsäure* (16 Schwefel auf 1 Wasserstoff) wird vorzüglich durch Auflösung eines schicklichen Schwefelmetalls, z. B. des Schwefeleisens, in wässeriger Salz- oder Schwefelsäure erhalten. Läfst man die Salzsäure auf das Schwefeleisen nach FARADAY's Art in dem einen Schenkel einer starken zugeschmolzenen Glasröhre einwirken, so sammelt sich in dem andern erkälteten Ende derselben die Hydrothionsäure als eine wasserhelle, tropfbare Flüssigkeit, nach FARADAY von 0,9, nach NIEMANN von nur 0,6 spec. Gewicht, dennoch an lichtbrechender Kraft das Wasser übertreffend. Bei gewöhnlichem Luftdruck erscheint die Hydrothionsäure als ein farbloses Gas von 1,1786 spec. Gewicht, von widerlichem Geruch und von narkotisch erstickender Wirkung beim Einathmen, mit blafsblauer Flamme verbrennbar. 1 Mafs Wasser absorbirt gegen 3 Mafs dieses Gases, die wässerige Hydrothionsäure oder das Schwefelwasserstoffwasser bildend, eine farblose Flüssigkeit von süfslichem Geschmak und schwacher Lackmus röthender Wirkung, aus welcher beim Luftzutritt unter Oxydation des Wasserstoffs der Schwefel niedergeschlagen wird. Die hydrothionsauren Alkalien sind farblos; sie verwandeln sich, bei abgehaltener Luft erhitzt, unter Wasserentwickelung in Schwefelmetalle; durch die oxydirende Wirkung der Luft gehn sie zuerst in hydrothionigsaure, dann in unterschwefeligsaure Salze über; mit fast allen Säuren entwickeln sie die Hydrothionsäure in Gasgestalt, Verbindungen der Hydrothionsäure mit schweren Metalloxyden scheinen nur wenige zu existiren, weil sich die Säure mit den meisten derselben augenblicklich in Wasser und Schwefelmetall zersetzt, daher sie auch aus vielen Auflösungen derselben in Säuren Schwefelmetalle fällt, die durch besondere, meist dunkle Farben ausgezeichnet sind, so dafs sie deshalb ein wichtiges Reagens für die schweren Metalle abgiebt.

Der *Chlorschwefel* (32 Schwefel auf 36 Chlor) ist eine gelbbraune, schwere, leicht verdampfbare, an der Luft einen dicken, heftig riechenden Nebel ausstofsende Flüssigkeit, durch Wasser in Salzsäure, schwefelige Säure und niederfallenden Schwefel zersetzbar. Der *Bromschwefel* ist ebenfalls flüssig

Digitized by Google

und dunkelroth. Der *Iodschwefel* ist schwarzgrau, metallglänzend, strahlig. Der *Selenschwefel* ist pomeranzengelb und leicht schmelzbar[1]. Der Schwefel vereinigt sich mit allen Metallen, mit vielen unter Feuerentwickelung. Die Schwefelmetalle sind fest und spröde und theils durchsichtig, theils metallglänzend. Die meisten Schwefelmetalle bleiben, für sich erhitzt, unverändert, während bei Luftzutritt Oxydation des Schwefels und zum Theil auch des Metalls erfolgt. Mehrere sind im Wasser zu hydrothionsauren Metalloxyden löslich.

G.

Schwere.

Gravitas; Gravité, Pesanteur; *Gravity*.

Man unterscheidet nicht selten die *Schwere der Himmelskörper* und der *Körper auf der Erde*, und bei den letzteren ihre *absolute*, *relative* und *specifische* Schwere, wonach sie also absolut, relativ und specifisch schwer genannt werden. Um einer hieraus nothwendig folgenden, dem Wesen der Sache widerstreitenden Unbestimmtheit der Begriffe zu entgehn, ist es am besten, die in diesem Werke gleich anfangs festgesetzte Bedeutung der Worte[2] allgemein beizubehalten. Hiernach ist die *Schwere* nichts anders, als die Wirkung der Anziehung, welche der Erdball gegen alle ihm zugehörige und in (verhältnifsmäfsig zum Halbmesser) geringer Entfernung von demselben befindliche Körper ausübt. Mit ihr dem Wesen nach identisch ist zwar die gegenseitige Wirkung der Attraction aller Weltkörper, die nach Newton sogenannte *allgemeine Schwere*, allein man nennt diese letztere auch *Gravitation*, welcher Sprachgebrauch am besten beibehalten wird. Diesemnach giebt es also keine absolute, relative und specifische Schwere, wohl aber ein absolutes, relatives und specifisches *Gewicht*[3]; bis jetzt aber erlaubt der Sprachgebrauch noch nicht, die verschiedenen Körper mit gleicher Consequenz der Wortbedeutungen absolut, relativ und specifisch *gewichtig*

---

1 Die Verbindungen mit Phosphor, Boron und Kohlenstoff s. oben Bd. VII. S. 471. Bd. I. S. 1100. Bd. V. S. 913.

2 S. *Anziehung*. Bd. I. S. 346.

3 Kaestner Anfangsgründe der höhern Mechanik. S. 33.

Digitized by Google

zu nennen, indem hierfür noch stets das Wort schwer (nicht ganz mit Recht) gebraucht wird, wie aus dem eigentlichen Wesen der Sache von selbst hervorgeht.

Die Erscheinung der Schwere oder des Angezogenwerdens aller sogenannten wägbaren Stoffe durch die Erde zeigt sich überall, indem in Gemäfsheit derselben alle Körper unausgesetzt ein gleichmäfsiges Bestreben äufsern, wenn sie nicht unterstützt sind, gegen die Erde zu fallen, wenn sie aber auf einer nicht weichenden Unterlage ruhn, stets mit gleicher Stärke gegen diese zu drücken. Beides ist im Wesentlichen gleich, und man kann daher sagen, dafs ein jeder Körper stets und unter allen Umständen, sey er ruhend oder in Bewegung, das Bestreben habe, gegen die Erde zu fallen. Welche Bewegung und in welcher Richtung jeder gegebene Körper daher auch hat, so wird er dem Einflusse der Schwere stets ausgesetzt seyn; er wird ihrer Kraft daher auch folgen, mithin stets nach dem nämlichen Gesetze fallen, sofern diese Wirkung nicht durch anderweitige Hindernisse oder entgegengesetzte Kräfte aufgehoben oder vermindert ist.

Wenn angenommen wird, dafs die Schwere der Körper eine Wirkung der Anziehung sey, welche die Erde gegen dieselben ausübt, so folgt hieraus der wichtige Satz, *dafs alle Materie gleich schwer sey;* denn indem die allen Theilchen der Erde zukommende Anziehung, deren Gesammtwirkung im Mittelpuncte der Erde vereinigt gedacht dasjenige erzeugt, was wir Schwere nennen, auf jedes in mäfsiger Entfernung[1] von der Oberfläche der Erde befindliche Element eines wägbaren Körpers gleichmäfsig wirkt, so mufs bei gleicher Ursache auch die Wirkung gleich, also alle Materie gleich schwer seyn. Sollte eine Ungleichheit der Schwere statt finden, so müfste diese entweder in einem Wechsel der Anziehungskraft von Seiten der Elemente des Erdkörpers oder von Seiten der angezogenen Partikeln gegründet seyn. Das Erstere ist kaum

---

1 Die Schwere, als Anziehung der Erde vorgestellt, wirkt zwar in jede beliebige Ferne, allein sobald diese eine bedeutende Gröfse erreicht, den Halbmesser der Erde als Einheit angenommen, gilt die Benennung Gravitation. Wollte man bestimmter unterscheiden, so könnte man die Schwere sich bis dahin erstrecken lassen, wo die Körper noch gleichzeitig mit der Erde rotiren, also bis 6,67 Erdhalbmesser.

Digitized by Google

denkbar, weil sich nicht wohl vorstellen läfst, wie eine der Materie der Erde einmal zukommende Kraft gegen gewisse Substanzen nicht statt finden oder eine Modification erleiden sollte; letzteres ist gleichfalls mindestens nicht wahrscheinlich, insofern die Materie blofs als solche hierbei in Betrachtung kommt. Man könnte jedoch annehmen, dafs in dieser Hinsicht eine gleiche Verschiedenheit vorkomme, als sich bei der Anziehung in der chemischen Verwandtschaft zeigt, allein hiergegen streitet der Umstand, dafs bei der Schwere die Materie blofs als solche und nicht rücksichtlich ihrer sonstigen Qualitäten in Betrachtung kommt. Newton[1] suchte jedoch diese Frage auf dem Wege der Erfahrung zu beantworten. Zu diesem Ende liefs er an einer Pendelstange eine hohle Kapsel schwingen, füllte diese abwechselnd mit verschiedenen Substanzen, machte die Vorrichtungen so, dafs die bei Pendeln zu berücksichtigenden Bedingungen einander völlig gleich waren, und fand, dafs sie jederzeit gleiche Schwingungszeiten einhielten, wonach also die sämmtlichen geprüften Körper gleich schwer seyn mufsten. Verschiedene Gelehrte haben seitdem die Frage aufgeworfen, ob nicht solche Körper, die aufser der Schwere auch durch die magnetische Kraft nach der Erde hin gezogen werden, sich als schwerer zeigen, allein wegen der Schwierigkeit, solche Versuche anzustellen, begnügte man sich stets mit den durch Newton erhaltenen Resultaten. Neuerdings hat indefs Bessel[2], dessen ausnehmende Genauigkeit und Uebung in der Behandlung der Pendel sattsam bekannt sind, jene Versuche mit gewohnter Sorgfalt wiederholt, dabei sowohl magnetisches als auch unmagnetisches Eisen und selbst auch Meteorsteinmasse angewandt, alle Körper aber gleich schwer gefunden, so dafs der Satz, *alle Materie ist gleich schwer*, jetzt durch Theorie und Erfahrung fest begründet ist.

Wird die Gesammtwirkung der Anziehung der Erde gegen ein Körperelement = w angenommen und besteht ein gegebener Körper aus n solchen Elementen, so ist seine Schwere = n w; besteht ein anderer Körper aus m derselben, so ist sie = m w. Wollte man hieraus folgern, die Schwere beider

1 Principia. Lib. III. prop. VI. Theor. 6.

2 Astron. Nachrichten. 1832. N. 223. Ausführlicher in G. Cl. 401.

verhalte sich wie n:m und müsse also verschieden seyn, so würde dieser Schluſs auf einer falschen Ansicht beruhn. Allerdings ist nämlich bei dem einen Körper die nämliche Kraft w nur n mal, bei dem andern aber m mal thätig, allein dafür müssen auch bei jenem nur n, bei diesem aber m Elemente bewegt werden, und jedes einzelne Element wird daher nur mit einer gleichen Kraft bewegt, kann sich daher nur gleich schwer zeigen, oder in Zeichen ausgedrückt ist die Schwere des einen Körpers $W = \frac{w\,m}{m}$, des andern $W' = \frac{w\,n}{n}$, folglich $W = W'$. Die Schwere aller Körper kann sonach nur gleich groſs seyn, sofern jedes ihrer Elemente durch eine gleiche Kraft afficirt wird; wird aber gefragt, mit welcher Kraft jeder dieser Körper gegen ein widerstehendes Hinderniſs vermöge seiner Schwere drücke, so bezieht sich diese Bestimmung offenbar auf die Summe der einzelnen, durch die Schwere afficirten Elemente und muſs daher dieser direct proportional seyn. Die Summe der hierbei wirksamen, durch die Schwere afficirten Elemente heiſst dann das *Gewicht* und, wenn bei der Bestimmung desselben zugleich auf das Verhältniſs seines Volumens zu dem irgend eines andern Körpers Rücksicht genommen wird, das *specifische Gewicht*. Es giebt sonach nur eine absolute und unveränderliche Schwere aller Körper, dagegen ein verschiedenes absolutes und auch relatives oder specifisches Gewicht derselben [1].

Von der Anwesenheit und unablässigen Wirksamkeit derjenigen Kraft, die wir hiernach mit dem Ausdruck: *Schwere* bezeichnen, überzeugt uns die tägliche Erfahrung dadurch, daſs alle wägbare Körper das unablässige Bestreben zeigen, sich der Erde zu nähern, oder daſs sie ohne vorhandenes Hinderniſs stets gegen dieselbe fallen. Ob die hierbei wirksame Kraft bloſs unserer Erde angehöre, oder sich auch auf andern Himmelskörpern thätig zeige, war lange Zeit zweifelhaft, und konnte überhaupt erst zur nähern Untersuchung kommen, nachdem Galileo Galilaei vermittelst der eben entdeckten Fernröhre aufgefunden hatte, daſs der Mond, die

1 Ueber die Schwierigkeiten, die rücksichtlich der in der Stöchiometrie angenommenen ungleichen Atomengewichte aus dieser Vorstellung hervorgehn, ist im Art. *Materie* gehandelt.

Digitized by Google

Sonne und die Planeten sphäroidische, um ihre Axe rotirende Körper und hiernach also unserer Erde ähnlich seyen. Newton brachte es zur Gewifsheit, dafs die nämliche und nach gleichen Gesetzen wirksame Kraft, welche die Körper gegen unsere Erde fallen macht, allen zu unserm Sonnensysteme gehörigen Körpern eigen ist und in Verbindung mit der Schwungkraft, vermöge deren sie in der Tangente ihrer Bahnen in Folge der Trägheit sich fortzubewegen streben, ihren steten Umlauf um einander bedingt. Die verwickelten Bahnen zu construiren, in denen diese Körper sich hiernach in Folge der Trägheit und gegenseitigen Anziehung bewegen müssen, ist die vorzüglichste Aufgabe der Astronomie, und zwar des speciellen Zweiges derselben, den man die Mechanik des Himmels nennt. Diese, durch Newton genauer bezeichnete, der Masse direct und den Quadraten der Entfernung umgekehrt proportionale Anziehung heifst die *Newton'sche Attraction*[1]. Ob diese sogenannte *allgemeine Schwere* durch die gesammten unermefslichen Himmelsräume wirksam sey, ist zwar noch nicht durch Erfahrung ausgemittelt, auf jeden Fall aber sehr wahrscheinlich; gleich schwierig und der Entscheidung künftiger Zeiten vorbehalten ist aber die Frage, ob die Bewegungen der Himmelskörper durch diese allgemeine Schwere in Verbindung mit der Trägheit allein bedingt werden, oder ob noch andere Kräfte dabei thätig sind, die einige Gelehrte nicht ohne scheinbaren Grund in der magnetischen Anziehung finden wollten.

Wenn man die Schwere als eine Kraft betrachtet, welche durch die einem jeden Körperelemente zukommende Anziehung erzeugt wird, so mufs sie jedem Körper eigen und der Masse desselben direct proportional seyn. Hiernach wird also die Erde nicht blofs jeden im Bereiche dieser ihrer Kraft befindlichen Körper anziehn, sondern auch von ihm wieder angezogen werden, der Körper wird daher nicht blofs gegen sie, sondern sie selbst wird zugleich gegen den Körper zu fallen streben. Bei den gröfsern Himmelskörpern ist dieses allerdings zu berücksichtigen und zeigt sich auch namentlich bei der Ebbe und Fluth, die irdischen Körper sind jedoch meistens an Masse zu gering, so dafs diese ihre Wirkung

1 Vergl. La Place Système du monde T. II. p. 1 ff.

verschwindet; blofs bei der Anziehung des Bleiloths durch grofse Gebirgsmassen wird sie wahrnehmbar[1].

Den Hauptsatz der Schwere, dafs ein Körperelement (*corpusculum*), welches aufserhalb einer Kugelfläche liegt, wenn es nach allen Puncten derselben gravitirt, vom Centrum der Kugel mit einer dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportionalen Kraft angezogen werde, hat Newton[2] auf eine elementare Weise zu begründen gesucht. Es seyen a h k b und
Fig. 279. A H K B zwei Sphären von gleichen Durchmessern; p und P die zwei Puncte aufserhalb derselben in ihren verlängerten Durchmessern a b, A B. Man ziehe die Linien p k und P K, p l und P L, welche gleiche Segmente h k und H K, i l und I L abschneiden, so liegt zwischen diesen der verschwindend kleine Bogen k l und K L. Aus dem Mittelpuncte der Kugel fälle man die Perpendikel s e und S E, s d und S D auf p l und P L, p k und P K, ferner i q und I Q auf p b und P B, i r und I R auf p k und P K. Nimmt man die Winkel d p e und D P E als verschwindend klein an, so ist s d = S D und s e = S E, man kann also p e = p f, P E = P F, d f = D F annehmen, indem ihre Grenze beim Verschwinden der genannten Winkel das Verhältnifs der Gleichheit ist. Dieses angenommen hat man:

$$\begin{array}{l} PI : PF = RI : DF \\ pf : pi = (df = DF) : ri \\ \hline PI.pf : PF.pi = RI : ri. \end{array}$$

oder die Bogen statt der Tangenten genommen = I H : i h.

$$\begin{array}{l} PI : PS = IQ : SE. \\ ps : pi = (se = SE) : iq. \\ \hline PI.ps : PS.pi = IQ : iq. \end{array}$$

Beide Verhältnisse verbunden geben

$$PI^2.pf.ps : pi^2.PF.PS = RI.IQ : ri.iq. = IH.IQ : ih.iq.$$

Es drückt aber I H . I Q : i h . i q das Verhältnifs der zu den Bogen I H und i h gehörigen Kugelstreifen aus, die durch Umdrehung der beiden Figuren a k b und A K B um die Axen p b

---

1 Vergl. Art. *Erde*. Bd. III. S. 944.

2 Phil. Nat. Princ. I. Sect. XII. Prop. LXXI. Theor. XXXI. p. 269. ed. Tessanek.

Digitized by Google

und PB erzeugt werden. Die Kräfte aber, womit beide Kugelstreifen die aufser ihnen liegenden Puncte p und P anziehn, sind nach der Hypothese der Gravitation den Flächen direct und den Quadraten der Entfernungen umgekehrt proportional, welches dadurch ausgedrückt wird, dafs

$$\frac{IH.IQ}{PI^2} : \frac{ih.iq}{pi^2} = pf.ps : PF.PS.$$

Aus der Anziehung nach pi und PI folgt aber vermöge der Zerlegung der Kräfte die Anziehung in der Richtung der Durchmesser

$$\frac{PQ}{PI} = \frac{PF}{PS} \text{ und } \frac{pq}{pi} = \frac{pf}{ps},$$

daher ist das Verhältnifs der Anziehungen beider Kugelstreifen gegen die Puncte P und p in der Richtung der Axen AB und ab

$$\frac{PF.pf.ps}{PS} : \frac{pf.PF.PS}{ps} = ps^2 : PS^2.$$

Auf gleiche Weise läfst sich der Satz für die zu den Bogen KL und kl gehörigen Kugelstreifen beweisen und sofort für alle Kugelstreifen, also auch für ihre Summe oder für die Kugeloberfläche und somit für die ganze Kugel, wenn man diese aus lauter dünnen Kugelflächen bestehend annimmt.

Man übersieht jedoch bald, dafs dieser Beweis auf der Gleichheit von df und DF beruht, welche aber nur dann statt findet, wenn die Entfernungen der Puncte p und P gegen die Halbmesser der Kugeln beträchtlich grofs sind, sonst aber kann derselbe nicht unbedingt angenommen werden. G. G. Schmidt[1] hat dieses näher gezeigt und einen andern eleganten Beweis für diesen Newton'schen Hauptsatz geliefert.

Man nehme ein verschwindendes ringförmiges Element der Kreisfläche abd, wovon jedes Element den aufserhalb gelegenen Punct p nach der Richtung ap, bp u. s. w. anzieht. Hieraus entsteht eine nach pc ziehende Kraft, welche sich zu dem schiefen Zuge wie pc:pa verhält. Es sey dann der Halbmesser des Kreises $= x$, die Entfernung $pc = a$, so ist $pa = \sqrt{a^2 + x^2}$. Das kleine ringförmige Element ist $= 2x\,dx\,\pi$, und sofern die Kraft der Anziehung dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional genommen wird, die erhaltene Fig. 280.

1 Münchener Denkschr. 1808. S. 291.

Digitized by Google

Gröfse aber im Verhältnifs von p c : p a zu nehmen ist, wird der lothrechte Zug des verschwindenden Elements

$$= \frac{2 x d x \pi}{a^2 + x^2} \times \frac{a}{\sqrt{a^2 + x^2}}.$$

Hiervon das Integral genommen giebt die Anziehung der Kreisfläche gegen den Punct c

$$\int 2 a \pi (a^2 + x^2)^{-\frac{3}{2}} x d x = \frac{-2 \pi a}{\sqrt{a^2 + x^2}} + C.$$

Soll dieses Integral für $x = 0$ verschwinden, so wird $C = 2\pi$ und das vollständige Integral

$$= 2\pi \left(1 - \frac{a}{\sqrt{a^2 + x^2}}\right).$$

Fig. 281. Um hieraus die Anziehung einer Kugel zu finden, sey a d b e eine Kugel, in deren verlängertem Durchmesser sich der angezogene Punct p befindet. Es sey a b ein auf den Durchmesser der Kugel senkrechter Kreis vom Halbmesser c b = y, die Entfernung d c vom Pole d sey = x, die Entfernung des Poles d vom Puncte p sey = a, so ist die Anziehung der Fläche, wenn in der oben gefundenen Formel a + x statt a und y anstatt x gesetzt wird,

$$2\pi \left(1 - \frac{a + x}{\sqrt{(a+x)^2 + y^2}}\right).$$

Man findet dann die Anziehung eines beliebigen Kugelabschnittes gegen den Punct p, wenn man dieses Integral mit d x multiplicirt, aus der bekannten Gleichung für den Kreis $y^2 = 2 r x - x^2$ setzt und das Integral so nimmt, dafs es für $x = 0$ verschwindet. Das Differential des Anziehung des Kugelabschnittes ist sonach

$$2\pi d x - \frac{2 \pi (a + x) d x}{\sqrt{a^2 + 2 (a + r) x}}.$$

Um das Integral für den zweiten Theil dieses Differentials zu erhalten, setze man

$$\frac{x d x}{\sqrt{a^2 + 2 (a + r) x}} = \frac{x d x}{\sqrt{\alpha + \beta x}}$$

und $(\alpha + \beta x)^{-\frac{1}{2}} = z$, also $(\alpha + \beta x)^{\frac{1}{2}} = z^{-1}$,

so wird

$$x = \frac{z^{-2} - a}{\beta} \text{ und } dx = -\frac{2}{\beta} z^{-3} dz,$$

wonach

$$\frac{x\,dx}{\sqrt{a+\beta x}} = \frac{z^{-2} - a}{\beta} \times -\frac{2}{\beta} z^{-3} dz \times z$$

$$= -\frac{2}{\beta^2} (z^{-2} - a)\, z^{-2}\, dz$$

$$= \frac{-2z^{-4} dz + 2az^{-2} dz}{\beta^2},$$

und diesemnach ist

$$\int \frac{x\,dx}{\sqrt{a+\beta x}} = \frac{\frac{2}{3} z^{-3} - 2az^{-1}}{\beta^2}.$$

Hierin die Werthe für a und β und z substituirt giebt

$$\int \frac{x\,dx}{\sqrt{a^2+2(a+r)x}} = \frac{\frac{2}{3}[a^2+2(a+r)x]^{\frac{3}{2}} - 2a^2[a^2+2(a+r)x]^{\frac{1}{2}}}{4(a+r)^2},$$

$$\int \frac{a\,dx}{\sqrt{a^2+2(a+r)x}} = \frac{a}{a+r}\sqrt{a^2+2(a+r)x},$$

$$\int dx = x,$$

wodurch die drei Integrale der obern Differentialgleichung gegeben sind. Zieht man die beiden erstern von letzterer ab, multiplicirt mit 2π und setzt die gehörige Constante für $x = 0$ hinzu, so erhält man die Anziehung des Kugelabschnittes

$$2\pi\left\{x - \sqrt{(a^2+2(a+r)x)}\left(\frac{\frac{2}{3}(a^2+2(a+r)x)+2a^2+4ar}{4(a+r)^2}\right) + \frac{a(\frac{2}{3}a^2+4ar)}{4(a+r)^2}\right\}.$$

Um die Anziehung der ganzen Kugel zu erhalten, darf man nur $x = 2r$ setzen, welches, wenn man wegstreicht, was sich aufhebt, giebt

$$\frac{\frac{4}{3} r^3 \pi}{(a+r)^2}.$$

Es ist aber der Zähler dieses Bruches der Ausdruck für den Inhalt der Kugel und $a+r$ die Entfernung des Punctes p vom Mittelpuncte der Kugel, woraus sich also ergiebt, dafs durch die Anziehung jedes einzelnen Elements einer Kugel, gleiche Dichtigkeit aller ihrer Elemente vorausgesetzt, eine Anziehung nach ihrem Mittelpuncte entsteht, welche der Masse direct und dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional ist,

Digitized by Google

der Abstand des angezogenen Körpers sey gering oder grofs gegen den Halbmesser der Kugel[1].

Aus dieser Gleichung folgt aufserdem, dafs die Anziehung eines Punctes durch eine Kugel, oder bei der Erde die Schwere, als Folge der Anziehung jedes einzelnen ihrer Elemente in ihrer Oberfläche am stärksten sey. Kommt der angezogene Körper von hier an dem Mittelpuncte näher, so wird $a = 0$ und r wird kleiner, oder es findet stets die Anziehung einer kleinern Kugel statt, bis diese selbst mit dem Verschwinden von r verschwindet und mit ihr zugleich die Anziehung, die daher im Centrum selbst $= 0$ seyn mufs. Es erscheinen hiernach zugleich alle äufsere Kugelschichten als unwirksam rücksichtlich des angezogenen Punctes, und so verhält es sich auch in der Wirklichkeit, wie Newton[2] zuerst gezeigt hat und nach ihm mehrere Geometer durch den höhern Calcül darthaten, wie z. B. La Place[3] und Poisson[4], indem sie bewiesen, dafs die Anziehung einer gleichmäfsig dichten und dicken hohlen Kugel gegen jeden Punct in ihrem Innern $= 0$ ist. Einen sehr leichten elementaren Beweis giebt folgende Betrachtung[5]. Es sey ABCD der Durchschnitt einer dünnen, anziehenden Kugelschicht, M der in ihrem Innern liegende angezogene Punct, no und NO bezeichnen kleine, auf der Oberfläche der Kugelschicht befindliche Kreisflächen und MN ist zweimal so grofs als Mn, so ist NO viermal so grofs als no, wie es denn neunmal so grofs wird, wenn MN dreimal so grofs als Mn ist. Unter der Voraussetzung einer der Masse direct und den Quadraten der Abstände umgekehrt proportionalen Anziehung mufs die viermal so grofse Masse in der doppelten Entfernung ebenso stark ziehn, als die einfache in der einfachen, ebenso die neunfache Masse in der dreifachen Entfernung u. s. w., und da dieses allgemein gilt, so heben sich die Anziehungen von NO und no auf den Punct M einander auf. Der Punct M wird

Fig.

---

1 Ein gleiches Resultat auf einem andern Wege erhält Poisson in Traité de Méc. T. II. p. 323 bis 325.

2 Princ. Lib. I. prop. LXX.

3 Mém. de l'Acad. 1782. p. 120.

4 Traité de Méc. T. II. p. 25.

5 Vergl. *Brandes* Vorlesungen Th. I. p. 86.

daher nach keiner Seite hin bewegt, und dieses gilt auch für eine Kugelschicht von gröfserer Dicke oder von einer willkürlich grofsen Menge solcher Kugelschichten. Wenn wir also bei der Erde solche Schichten von gleichmäfsiger Dichte annehmen, so wird ihre Anziehung gegen jeden in ihrem Innern befindlichen Punct aufgehoben und es bleibt blofs die Anziehung der kleinern von ihnen eingeschlossenen Kugel übrig.

Diesemnach nimmt also die Schwere nach dem Innern der Erde hin im einfachen geraden Verhältnisse ihres Halbmessers ab, oder aber, wenn man dieselbe auf der Oberfläche der Erde $= g$, jenen Halbmesser $= r = 1$ nennt und $\frac{m}{n}$ einen ächten Bruch bezeichnet, so wird sie in $\frac{m}{n}$ Entfernung vom Centrum der Erde $= \frac{m}{n} g$ seyn, im Mittelpuncte selbst aber, wo $\frac{m}{n} = 0$ wird, verschwinden[1]. Heifst dagegen die Entfernung von der Oberfläche der Erde $= x$, so wird die Schwere g' daselbst $g' = g \cdot \frac{r^2}{(r+x)^2}$ oder, den Halbmesser der Erde $= 1$ angenommen,

$$= g \cdot \frac{1}{(1+x)^2} = g\ (1 - 2x + 3x^2 - 4x^3 + \ldots.)$$

seyn, wofür man für diejenigen Werthe von x, die gegen den Halbmesser der Erde sehr klein sind, mit Vernachlässigung der höhern Potenzen ohne merklichen Fehler $g\,(1 - 2x)$ setzen kann. Ist aber die Schwere $= g'$ für irgend eine Höhe $= h$ über der Oberfläche der Erde gefunden und will man dieselbe $= g''$ für irgend eine andere Höhe $= h'$ finden, so ist $g' : g'' = \frac{1}{(r+h)^2} : \frac{1}{(r+h')^2}$, mithin $g'' = g' \left(\frac{r+h}{r+h'}\right)^2$.

Vermittelst einer gemeinen Waage, wie fein dieselbe auch seyn möchte, läfst sich dieses nicht prüfen, weil sowohl der

---

1 Newton Princ. I. prop. LXXIII. La Place Méc. Cel. L. III. chap. 2., deutsche Ueb. Th. II. S. 63. Brandes Lehrb. d. Gesetze d. Gleichgew. u. s. w. Th. I. S. 144. Langsdorf Handbuch d. Mech. S. 306. u. v. a.

zu wägende Körper, als auch die Gewichtsstücke auf gleiche Weise durch die Abnahme der Schwere afficirt werden, wohl aber würde eine feine Federwaage den Unterschied anzugeben vermögen, welcher jedoch vermittelst des Pendels auf eine leichtere und sichere Weise erwiesen ist[1]. Die Abnahme der Schwere bei gröfserer Annäherung zu ihrem Mittelpuncte würde sich gleichfalls durch diese Mittel leicht erweisen lassen, wenn es nicht so schwierig wäre, Versuche in hinlänglicher Tiefe unter der Oberfläche der Erde anzustellen.

Bei allen diesen Demonstrationen ist die Erde als eine Kugel von gleichmäfsiger Dichtigkeit aller ihrer Theile angenommen, welches zwar weder möglich, noch auch mit anderweitigen Beobachtungen übereinstimmend ist. Wäre dieses aber der Fall, wie man wegen ihrer geringen Excentricität zur leichtern Demonstration meistens anfangs anzunehmen pflegt, so müfste die Schwerlinie aller Körper, oder dem Sprachgebrauche nach die *Falllinie* (*Linea propensionis*), aus dem Schwerpuncte jedes Körpers verlängert in den Mittelpunct der Erde treffen. Ein an einem Faden hängender schwerer Körper giebt die Richtung dieser Linie, der lothrechten oder verticalen Linie, an, welche mit der Tangente an die Oberfläche der Erde zwei rechte Winkel bildet oder auf einer berührenden Ebene perpendiculär ist. Bei der Gröfse der Erde ist eine solche berührende Ebene für irdische Messungen beträchtlich grofs und bildet den scheinbaren Horizont oder die horizontale Ebene, so dafs also eine hierauf lothrechte Linie verlängert in das Centrum der Erde, als Kugel gedacht, gelangt. Vermöge der Natur der Flüssigkeiten, namentlich des Wassers, kann das Gleichgewicht jedes einzelnen gleich stark angezogenen Theiles oder der einzelnen Säulen desselben nicht statt finden, wenn sich die Oberflächen nicht in gleichem Abstande vom Mittelpuncte der Erde, als ruhende Kugel gedacht, befinden, wodurch also diejenige Kugelfläche entsteht, wovon kleine Theile wegen der Gröfse der Erde von einer ebenen Fläche nicht merklich abweichen und daher den Seehorizont bilden. Hängen zwei Lothe in einiger Entfernung von ein-

---

1 Vergl. *Pendel.* Bd. VII. S. 353. und über die Versuche, wodurch man das Newton'sche Gravitationsgesetz widerlegen wollte, Art. *Anziehung.* Bd. I. S. 331.

Digitized by Google

under herab, so bilden sie einen Winkel, weil die von ihnen bezeichneten Linien verlängert sich im Centro der Erde schneiden. Nimmt man auf die ellipsoidische Gestalt der Erde Rücksicht, bezeichnet e die Excentricität, φ die geographische Breite, r den Radius der Erde, den Halbmesser des Aequators $= 1$ angenommen, ω den Winkel im Innern der Erde für einen gegebenen Raum $= k$, so ist in Secunden[1]

$$\omega = \frac{k}{r \,.\, \text{Sin. } 1''} \left(1 - \tfrac{1}{2} e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi\right).$$

Nach den in diesem Werke gefundenen Dimensionen der Erde[2] beträgt die Länge eines Quadranten 1347,667 Meilen und der 324000ste Theil hiervon oder der Bogen, welcher einer Secunde zugehört, 95,484 par. Fufs. Will man diese Gröfse genauer bestimmen, so beträgt sie nach der Gröfse der Meridiangrade unter dem Aequator 94,519 par. Fufs und ist also unter irgend einer Breite $= \varphi$

$$94{,}519 \frac{1}{(1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}},$$

wonach sie unter 45° NB $= 95{,}011$ und unter dem Pole 95,507 par. Fufs beträgt, im Aequator aber 95,177 Fufs. Alle diese Bestimmungen weichen nur wenig von einander ab, und es würde überhaupt den erforderlichen Aufwand nicht belohnen, wenn man diese Gröfse für jeden Punct der Erdoberfläche genau bestimmen wollte, indem es vielmehr bei weitem in den meisten Fällen genügt, sie im Allgemeinen zu 95 Fufs festzusetzen. Wenn also zwei Lothe in dieser Entfernung von einander herabhängen, so sind sie nicht im strengsten Sinne parallel, sondern divergiren um die Gröfse von einer Secunde. Wären jedoch beide Lothe 100 Fufs lang, so würde der Abstand zwischen ihren obern und untern Enden doch nur einen Unterschied von 0,0004 Fufs, also eine nicht wohl mefsbare Gröfse betragen, weswegen beide in der Ausübung für parallel gelten können und auch als solche betrachtet werden.

Die Erde ist keine Kugel, sondern nahe genau ein elliptisches Sphaeroid (*Ellipsoide de révolution*), und die verlängerten *Falllinien* können daher nur unter dem Aequator und unter

---

1 Méthode analytique pour la determ. d'un arc du Merid. par de Lambre. p. 94.

2 S. *Erde*. Bd. III. S. 930.

den Polen in das Centrum der Erde treffen, müssen aber an allen andern Orten in die Ebene des Aequators einschneiden, weil sie die Richtung der Normalen einer Ellipse haben. Huyghens machte diese Bemerkung zuerst und bestimmte den Abweichungswinkel für Paris zu 5′ 45″, Kraft[1] aber berechnete ihn für den ganzen Quadranten und fand das Maximum desselben bei 44° 57′ 1″ = 5′ 57″. Indefs wird diese Gröfse durch die Abplattung bedingt, wie bereits oben[2] gezeigt worden ist. Es ist nämlich der Winkel, welchen eine aus dem Centrum der Erde bis zu einem Parallel auf ihrer Oberfläche gezogene Linie (der *radius vector*) mit der Ebene des Aequators bildet, die sogenannte *geocentrische Breite* des Ortes, die allezeit kleiner seyn mufs, als die geographische[3]. Nennt man die erstere = l, die letztere = φ, heifst ferner die halbe Axe = b, der Halbmesser des Aequators = a und $\frac{a-b}{a} = \alpha$ die Abplattung, so ist

$$\text{Tang. } l = \frac{b^2}{a^2} \text{ Tang. } \varphi = (1-\alpha)^2 \text{ Tang. } \varphi,$$

Nennt man also $\varphi = l + \lambda$, so wird

$$\text{Tang. } (\varphi - \lambda) = (1-\alpha)^2 \text{ Tang. } \varphi$$

und hieraus

$$\text{Tang. } \lambda = \alpha(1 + \tfrac{1}{2}\alpha) \text{ Sin. } 2\varphi - \tfrac{1}{2}\alpha^2 \text{ Sin. } 4\varphi.$$

Für eine Abplattung von $\frac{1}{289}$ ist λ am gröfsten bei 44° 54′ 15″ und beträgt 11′ 50″,8. Man kann bei der Kleinheit der Winkel den Winkel λ für diese Abplattung unmittelbar finden, nämlich

$$\lambda = 712'',48 \text{ Sin. } 2\varphi - 1'' \text{ Sin. } 4\varphi.$$

Das letzte Glied ist so klein, dafs es ohne merkliche Aenderung weggelassen werden kann.

Aus dieser Gestalt der Erde folgt, dafs jeder Körper auf ihrer Oberfläche unter verschiedenen Breiten sich in einem ungleichen Abstande vom Centrum der anziehenden Masse befinde und daher ungleich schwer seyn müsse. Untersuchungen, um den hieraus entstehenden Unterschied der Schwere

---

1 Comment. Pet. T. VIII. p. 241.

2 S. *Fall.* Bd. IV. S. 13.

3 J. C. E. Schmidt Lehrbuch der math. und phys. Geographie. Gött. 1829. Th. I. S. 204.

Digitized by Google

zu finden, haben in frühern Zeiten Newton[1], Maclaurin, Simpson und vorzüglich Clairaut[2] angestellt, die man von P. Frisi[3] zusammengestellt findet. Gegenwärtig wird diese Aufgabe durch die höhere Analysis beantwortet, eine einfache geometrische Darstellung aber ist folgende[4]. Da die Normale für einen jeden Punct eines elliptischen Meridians der Erde die verlängerte Falllinie und somit die Richtung der Schwere bezeichnet, aus den Anziehungsgesetzen aber folgt, dafs sich die Schwere unter dem Pole zur Schwere unter dem Aequator verhält, wie der Halbmesser des Aequators zur halben Axe[5], oder dafs sie den Normalen eines jeden Punctes der Erdoberfläche proportional ist, so darf man nur das Verhältnifs dieser Normalen suchen, um daraus das der Schwere zu erhalten.

Es sey also AMB ein elliptischer Bogen für die grofse Axe AC und die kleine BC, so ist CM ein Halbmesser des Punctes M, dessen Normale MN ist. Auf die Erde bezogen drückt AC die Ebene des Aequators, B den Pol und ANM die Polhöhe $= \varphi$ des Punctes M aus. Es sey dann MP auf AC senkrecht und $ACM = l$, so ist Fig. 282.

$$CM : MN = \text{Sin. } CNM : \text{Sin. } NCM = \text{Sin. } \varphi : \text{Sin. } l,$$

$$\text{also } MN^2 = \frac{CM^2 \text{ Sin.}^2 l}{\text{Sin.}^2 \varphi} \quad . \quad . \quad . \quad (1$$

Nach den Eigenschaften der Ellipse ist

$$CP : PN = AC^2 : CB^2 = a^2 : b^2$$
$$= \text{Tang. } PMC : \text{Tang. } PMN,$$

$$\text{folglich} \begin{cases} \text{cot. } ACM : \text{cot. } ANM \\ \text{cot. } l : \text{cot. } \varphi \\ \text{Tang. } \varphi : \text{Tang. } l \end{cases} = a^2 : b^2,$$

$$\text{also } a^2 \text{ Tang. } l = b^2 \text{ Tang. } \varphi$$
$$a^4 (1 + \text{Tang.}^2 l) = a^4 + b^4 \text{ Tang.}^2 \varphi$$
$$a^4 \text{ Sec.}^2 l = a^4 + b^4 \text{ Tang.}^2 \varphi$$

---

1 Princ. L. I. prop. XCI. coroll. 3. L. III. prop. XIX.

2 Mém. de l'Acad. 1745. Vergl. Phil. Trans. XL. p. 19.

3 De gravitate universali corp. Lib. III. Mediol. 1768. L. II. cap. 2.

4 S. Bohnenberger Astron. S. 197.

5 Vergl. La Place Mécan. cel. Liv. III. chap. 2. D. Ueb. Th. II. S. 64.

Digitized by Google

$$\text{Sec.}^2 l = \frac{a^4 \text{Cos.}^2 \varphi + b^4 \text{Sin.}^2 \varphi}{a^4 \text{Cos.}^2 \varphi}$$

$$\text{oder Cos.}^2 l = \frac{a^4 \text{Cos.}^2 \varphi}{a^4 \text{Cos.}^2 \varphi + b^4 \text{Sin.}^2 \varphi},$$

und weil $b^2 \text{ Cot. } l = a^2 \text{ Cot. } \varphi$,

so ist $b^4 (1 + \text{Cot.}^2 l) = b^4 + a^4 \text{ Cot.}^2 \varphi$,

$$b^4 \text{Cosec.}^2 l = b^4 + a^4 \text{ Cot.}^2 \varphi$$

$$\text{Cosec.}^2 l = \frac{b^4 \text{ Sin.}^2 \varphi + a^4 \text{ Cos.}^2 \varphi}{b^4 \text{ Sin.}^2 \varphi}$$

$$\text{also Sin.}^2 l = \frac{b^4 \text{ Sin.}^2 \varphi}{b^4 \text{ Sin.}^2 \varphi + a^4 \text{ Cos.}^2 \varphi}.$$

Diese Werthe in die Gleichung 1 substituirt geben

$$MN^2 = \frac{b^4 \, CM^2}{b^4 \text{ Sin.}^2 \varphi + a^4 \text{ Cos.}^2 \varphi} \quad \ldots (2$$

Nach den Eigenschaften der Ellipse ist ferner

$$PM^2 = b^2 - \frac{b^2}{a^2} CP^2 \text{ oder}$$

$$MC^2 \text{ Sin.}^2 l = b^2 - \frac{b^2}{a^2} MC^2 \text{ Cos.}^2 l$$

$$MC^2 (\text{Sin.}^2 l + \frac{b^2}{a^2} \text{Cos.}^2 l) = b^2$$

$$MC^2 = \frac{a^2 \, b^2}{a^2 \text{ Sin.}^2 l + b^2 \text{ Cos.}^2 l}.$$

Hierin substituirt

$$MC^2 = \frac{b^4 \text{Sin.}^2 \varphi + a^4 \text{ Sin.}^2 \varphi}{b^2 \text{Sin.}^2 \varphi + a^2 \text{ Cos.}^2 \varphi},$$

welcher Werth in 2) gesetzt giebt

$$MN^2 = \frac{b^4}{b^2 \text{ Sin.}^2 \varphi + a^2 \text{ Cos.}^2 \varphi}$$

und (da $\text{Cos.}^2 \varphi = 1 - \text{Sin.}^2 \varphi$)

$$= \frac{b^4}{a^2 - (a^2 - b^2) \text{ Sin.}^2 \varphi}.$$

Substituirt man hierin den Parameter $p = \frac{b^2}{a}$ und setzt

$$\frac{a^2 - b^2}{a^2} = e^2, \text{ so ist}$$

$$MN^2 = \frac{p^2}{1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi}.$$

Indem bei der Erde für die verschiedenen Normalen blofs die

Digitized by Go

Breite wechselt, so verhält sich hiernach die Schwere unter der Breite φ zur Schwere unter der Breite ψ wie

$$\sqrt{1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \psi} : \sqrt{1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi},$$

also die Schwere unter der Breite φ zur Schwere unter dem Aequator, wie $1 : \sqrt{1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi}$, und es ist daher die Schwere unter der Breite φ

$$= \frac{g}{\sqrt{1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi}} = g\left(1 + \tfrac{1}{2} e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi + \frac{1.3}{2.4} e^4 \text{ Sin.}^4 \varphi \ldots\right),$$

wofür man, weil e^2 ein sehr kleiner Bruch ist, mit Weglassung der höhern Potenzen setzen kann $g\left(1 + \frac{1}{2} e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi\right)$. Hiernach ist also die Zunahme der Schwere vom Aequator zum Pole hin dem Quadrate des Sinus der Breite proportional[1].

Nach den aus den bis jetzt bekannt gewordenen genauen Messungen[2] erhaltenen Resultaten ist $a = 3271952$ und $b = 3260634$ Toisen, und hiernach also $e^2 = 0{,}0069062\ldots$, und wenn also die Schwere unter dem Pole $= 1$ gesetzt wird, so ist sie unter dem Aequator $= 0{,}9965468$. Der Unterschied beider beträgt 0,0034531, welche Gröfse A heifsen möge, wonach dann, wenn die Schwere g unter dem Aequator gegeben ist, die Schwere g' unter einer gegebenen Breite $= \varphi$ genähert richtig $g' = g(1 + A . \text{Sin.}^2 \varphi)$ gesetzt werden kann. Ein Körper also, welcher eine Federwaage unter dem Aequator um die Gröfse 1 zusammendrückt, würde sie unter der Breite $= \varphi$ um die Gröfse $= 1 + 0{,}0034531$ zusammendrücken[3].

Bei den bisherigen Untersuchungen ist die Erde als ruhend angenommen worden, was jedoch mit der Wirklichkeit nicht übereinstimmt, indem sie vielmehr täglich einen ganzen Umschwung um ihre Axe von Westen nach Osten vollendet. Ein jeder Körper auf ihrer Oberfläche durchläuft daher in dieser Zeit einen Kreis, welcher mit dem Perpendikel auf die Erdaxe von demjenigen Puncte aus, wo sich der Körper befindet, als Radius beschrieben wird, gleichsam als wenn er am Ende dieses Radius befestigt während eines Sternentages einen ganzen Kreis beschriebe oder einmal umgeschwungen würde. Es

---

1 Vergl. Le Gendre in Mém. de l'Acad. 1789. p. 894.

2 S. *Erde*. Bd. III. S. 933.

3 Eine Federwaage für diesen Zweck, genannt *statera geographica* et *nautica*, hat Kratzenstein angegeben. S. Nov. Comm. Pet. T. II. p. 210.

Digitized by Google

ist aber das Mafs der Schwungkraft[1] $p = \frac{c^2}{2gr}$, wenn c die Geschwindigkeit, r den Radius des beschriebenen Kreises und g die Fallhöhe in einer Secunde bezeichnet. Um hiernach diese Gröfse für diejenigen Körper zu bestimmen, die sich unter dem Aequator befinden, beträgt der Halbmesser des Aequators 3271952 Toisen, mithin ist dort der Umfang der Erde $= 2\pi \times 3271952$ Toisen oder 19631712 par. Fufs, welches zugleich die Bahn ist, die ein Körper im Niveau des Meeres dort während eines Sterntages zurücklegt. Auf einen Sterntag, welcher 3′ 55″,909 mittlerer Sonnenzeit kürzer ist, als ein Tag nach Sonnenzeit, gehn sonach 86400 — 235,909 = 86164,091 Secunden mittlerer Sonnenzeit und sonach beträgt der Umfang der Erde unter dem Aequator $= 2r\pi = 20558000$ Toisen, welcher durch die Zahl der Secunden dividirt für eine Secunde einen Raum von 238,6 Toisen oder 1431,5 Fufs giebt. Setzen wir, da kleine Unterschiede hierbei nicht in Betrachtung kommen, die Fallhöhe in 1″ ohne Rücksicht auf die Schwungkraft = 15,13 par. Fufs, so giebt die Formel $p = \frac{c^2}{2gr}$ das Verhältnifs der Schwungkraft zur Schwere

$$= \frac{2049400}{594050000} \text{ oder } \frac{1}{289,87}, \text{ oder kürzer } \frac{1}{289,9}.$$

Newton[2] fand dieselbe $= \frac{1}{289}$, de la Lande[3] $= \frac{1}{287}$, Poisson[4] $= \frac{1}{289}$, und überhaupt können die verschiedenen Resultate der Rechnung hierbei keine bedeutende Unterschiede darbieten. Es beträgt ferner $\frac{1}{289,9} \times 15,13$ Fufs nur 0,052 Fufs, und um so viel ist also die Fallhöhe unter dem Aequator durch die Schwungkraft geringer, als sie ohne diese seyn würde. Ferner ist die Schwungkraft dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional, und da $\sqrt{289,9} = 17,025$ ist, so würde die Schwungkraft unter dem Aequator der Schwere daselbst gleich seyn, wenn die Erde 17mal so geschwind um

---

1 S. *Centralbewegung*. Bd. II. S. 64.

2 Princ. L. III. prop. XIX. probl. 3. T. III. p. 77.

3 Astron. §. 3395.

4 Traité de Mécan. T. I. p. 392.

Digitized by Google

ihre Axe rotirte oder die Tagslänge $\frac{24}{17{,}025}$ Stunden betrüge. In diesem Falle würden dann die Körper unter dem Aequator keine Schwere haben, vielmehr durch irgend eine Kraft in die Höhe geworfen oder sich in der Höhe befindend nicht wieder auf die Erde herabfallen.

Die Kreise, in welchen die Körper auf der Oberfläche der Erde umgeschwungen werden, nehmen mit der Entfernung vom Aequator ab, und somit auch die Geschwindigkeit der Bewegung und die hierdurch erzeugte Schwungkraft, die also genau im Pole gänzlich verschwindet. Um das Verhältnifs dieser Abnahme zu den Graden der Breite zu finden, sey Fig. 283. pp' die Erdaxe, ca der Halbmesser und mq auf die Erdaxe senkrecht. Die Schwungkraft wirkt in der Ebene des Kreises, welchen der Körper beschreibt, und ist dem Halbmesser desselben proportional, so dafs, wenn ab die Schwungkraft unter dem Aequator, mn unter der Breite φ bedeutet,

$$ba : mn = ac : mq.$$

Die Kraft mn läfst sich in mr und nr zerlegen, wovon mr der Schwere entgegenwirkt. Es ist dann bei geringer Excentricität

$$\begin{aligned} mn : mr &= mc : mq \\ &= ac : mq \\ ab : mn &= ac : mq \end{aligned}$$

$$ab : mr = ac^2 : mq^2.$$

Es ist aber $mq = \text{Sin. } mcq = \text{Cos. } (90^0 - mcq)$

$mca = \varphi$, also $mq = \text{Cos. } \varphi$,

$$mr = \frac{ab \times mq^2}{ac^2} \text{ und, } ac \text{ als Einheit gesetzt,}$$

$$mr = ab \times mq^2 = ab \text{ Cos.}^2 \varphi,$$

also ist die der Schwere entgegenwirkende Schwungkraft unter irgend einer Breite dem Quadrate des Cosinus proportional. Ebendieses folgt, wenn man berücksichtigt, dafs die Geschwindigkeiten der auf der Erde befindlichen, mit ihr zugleich umgeschwungenen Körper sich verhalten, wie die durchlaufenen Räume, also wie die beschriebenen Kreise oder wie die Radien oder die Perpendikel auf die Axe. Letztere sind aber die Cosinus der Breite, und man erhält also

$$c : c' = \text{Cos. } \varphi : \text{Cos. } \psi,$$

Digitized by Google

und da die Schwungkraft $p : p' = c^2 : c'^2$, so erhält man

$$p : p' = \text{Cos.}^2 \varphi : \text{Cos.}^2 \psi,$$

also die Schwungkraft unter dem Aequator als Einheit angenommen ist sie unter einer Breite $= \varphi$

$$p' = p \ \text{Cos.}^2 \varphi = p \ (1 - \text{Sin.}^2 \varphi),$$

die Schwere mufs aber vom Aequator an zunehmen, wie die Schwungkraft abnimmt. Heifst sie also unter dem Aequator g, unter einer Breite $= \varphi$ aber g', so ist $g = 1 - p$, und umgekehrt $g' = 1 - p\,(1 - \text{Sin.}^2 \varphi)$,

$$\text{also } g : g' = 1 - p : 1 - p\,(1 - \text{Sin.}^2 \varphi)$$
$$= 1 - p : 1 - p + p\,\text{Sin.}^2 \varphi.$$

Hierin $1 - p$ als Einheit angenommen ist

$$g' = g\,(1 + p.\ \text{Sin.}^2 \varphi).$$

Substituirt man hierin den gefundenen Werth für die Schwungbewegung $p = \frac{1}{289{,}9} = B$, so wird die Schwere unter der Breite φ

$$g' = g\ (1 + B\ \text{Sin.}^2 \varphi).$$

Die Gröfse B beträgt aber 0,0034495.... der Schwere, also würde ein Körper die Federwaage, die er unter dem Aequator um die Einheit zusammendrückt, unter dem Pole um die Gröfse $= 1{,}0034495....$ zusammendrücken. Wir haben aber oben gesehn, dafs vermöge der Abplattung die Schwere vom Aequator an nach dem Pole hin um die Gröfse A dem Quadrate des Sinus der Breite proportional wächst, und da sie in gleichem Verhältnisse durch die Abnahme der Schwungkraft zunimmt, so geben beide Gröfsen vereint[1]

$$g' = g\ \left(1 + (A + B)\ \text{Sin.}^2 \varphi\right),$$

welches durch Substitution der gefundenen Zahlenwerthe giebt

$$g' = g\,(1 + 0{,}0069026 \ldots\ \text{Sin.}^2 \varphi).$$

Setzt man $\text{Sin.}^2 \varphi = \frac{1 - \text{Cos.}\,2\varphi}{2}$, so erhält man

$$g' = g\,(1{,}0034513 \ldots - 0{,}0034513\,\text{Cos.}\,2\varphi),$$

also für den 45sten Breitengrad ist $g' = g\ (1{,}0034513)$.

Diese Bestimmung ist zwar auf die genauesten Gröfsen-Verhältnisse gegründet, welche aus geodätischen Messungen

---

1 Newton Princ. L. III. prop. XX. probl. IV. T. III. p. 105. Incrementum ponderis, pergendo ab aequatore ad polum, est ut quadratum sinus recti latitudinis. Nach seiner Bestimmung ist

$$g' = g\ (1 + 0{,}00420\ \text{Sin.}^2 \varphi).$$

Digitized by Google

über die Gestalt der Erde aufgefunden worden sind, zugleich aber auch auf die Voraussetzung einer gleichmäfsigen Dichtigkeit derselben, die auf keine Weise mit Wahrscheinlichkeit anzunehmen ist, und sie stimmt daher mit denjenigen Resultaten nicht überein, die aus den Versuchen mit Pendeln hervorgegangen sind, die jedoch auf das Bestimmteste das Verhältnifs der Schwere unter den verschiedenen Parallelen angeben. Die Zunahme der Schwere ist nämlich der Vermehrung der Pendellängen gleich, wonach $g' = g(1 + y \text{ Sin.}^2 \varphi)$ wird. Nimmt man auf die im Art. *Pendel*[1] nachgewiesene ungleiche Abplattung unter verschiedenen Polhöhen keine Rücksicht, sondern legt man die dem ganzen Quadranten von 0° bis 90° zugehörige $= \frac{1}{289,1}$ zum Grunde, so erhält man für y einen Werth $= 0{,}00520868\ldots$ und $g' = g\,(1 + 0{,}00520868 \text{ Sin.}^2 \varphi)$, eine Bestimmung, welche aus dem mittlern Resultate der neuesten Pendelmessungen entnommen ist[2]. Wird auch hierin statt

$$\text{Sin.}^2 \varphi \text{ substituirt } \frac{1 - \text{Cos.}\, 2\varphi}{2},$$ so ist

$$g' = g\,(1{,}00260434 - 0{,}00260434 \text{ Cos. } 2\varphi),$$

und, wenn man die Schwere unter dem 45sten Grade der Breite als Einheit durch g und die unter einer andern Breite durch g' bezeichnet,

$$g' = g\,(1 - 0{,}00260434 \text{ Cos. } 2\varphi),$$

eine bei vielen Untersuchungen vorkommende Bestimmung[3].

Die Schwere bedingt den Fall der Körper in der Art, dafs man häufig denjenigen Raum, durch welchen ein Körper in einer Secunde mittlerer Sonnenzeit durch die Schwere herab-

---

1 Vergl. *Pendel.* Bd. VII. S. 371.

2 Andere Angaben stimmen hiermit nahe überein. Kraft z. B. in Nov. Comm. Petrop. VII. u. VIII. findet $A + B = 0{,}0052848$. Poisson Traité de Mécan. I. 393. findet 0,005682. Le Gendre in Mém. de l'Acad. 1789. p. 421. giebt an 0,005556. La Place in Mém. de l'Acad. 1817. T. II. p. 162. erhält als Resultat seiner Rechnung 0,004325, also aus der Annahme der gleichmäfsigen Dichtigkeit der Erdschichten weniger, als aus der Erfahrung, welche letztere ihm 0,0054 giebt.

3 Die bei den französischen Schriftstellern meistens vorkommende Bestimmung dieser Gröfse ist $g' = g\,(1 - 0{,}0027601 \text{ Cos.} 2\varphi)$. S. Conn. de Tems l'an 1816. p. 332. Biot Astron. phys. T. I. p. 199. hat $1 - 0{,}00257 \text{ Cos. } 2\varphi$, in Traité de Phys. T. I. p. 390. dagegen $1 - 0{,}002837 \text{ Cos. } 2\varphi$.

Digitized by Google

zufallen vermocht wird, durch g bezeichnet und als allgemeines Normalmafs für die Geschwindigkeit der Bewegung betrachtet. Inwiefern dieses Fallen der Körper durch die stetig wirkende Kraft der Schwere nothwendig erzeugt werden und die hieraus folgende Bewegung zugleich eine gleichmäfsig beschleunigte seyn müsse, ist bereits gezeigt[1] und dabei zugleich bewiesen worden, dafs der während einer Secunde durch einen frei fallenden Körper zurückgelegte Raum eine mittlere Geschwindigkeit gebe, die einer halben Secunde zugehört. Es läfst sich dieses auf eine einfache Weise durch geometrische Construction anschaulich machen. Drückt nämlich die Fläche des Dreiecks A C B die zunehmend wachsende Geschwindigkeit des in C mit 0 anfangenden und nach einer Secunde in A B endigenden fallenden Körpers aus, so ist e f diejenige Gröfse, welche seine mittlere Geschwindigkeit bezeichnet, da der Flächeninhalt des Rectangels a b c d dem des Dreiecks A C B gleich ist. Die Gröfse e f drückt also diejenige Geschwindigkeit aus, die der Körper nach einer halben Secunde erreicht, und ist zugleich die mittlere, die dem Fallraume einer ganzen Secunde zugehört, folglich mufs ein Körper zwei Secunden fallen, damit seine mittlere Geschwindigkeit diejenige werde, die er nach Verlauf von einer ganzen Secunde annimmt. Will man daher diese bezeichnen, so mufs man denjenigen Raum nehmen, welchen der Körper während zwei Secunden zurücklegt, und wird also der Fallraum, welcher während einer Secunde durchlaufen wird, mit g' bezeichnet, so mufs die zur Vergleichung der Geschwindigkeit dienende Gröfse $= 2g'$ genommen werden, wie auch in der oben gebrauchten Formel und sonst bereits in zahllosen Fällen geschehn ist. Hierbei mufs man jedoch den herrschenden Sprachgebrauch sorgfältig beachten. Allgemein bedient man sich des Buchstabens g zur Bezeichnung des Fallraums, allein mit dem Unterschiede, dafs g entweder denjenigen bezeichnet, welcher während einer Secunde zurückgelegt wird, wie dieses in Deutschland ziemlich allgemein üblich ist, oder dafs dieser nur $\frac{1}{2}$ g heifst, wie meistens bei den französischen Schriftstellern, wo also g so viel bedeutet, als bei den deutschen 2g.

Fig. 284.

Der Werth von g oder der Fallraum in einer Sexagesi-

---

1 S. *Fall.* Bd. IV. S. 1 ff.

Digitized by Google

malsecunde mittlerer Sonnenzeit ist auf keine andere Weise mit der erforderlichen Schärfe zu finden, als durch die genaue Messung des einfachen Secundenpendels, denn auf jeden Fall müfsten die beobachteten fallenden Körper sich im luftleeren Raume bewegen, was kaum zu bewerkstelligen und auf keine Weise mit der gehörigen Genauigkeit mefsbar seyn würde. Dagegen geben aber die Pendelmessungen diese Gröfse mit einer Schärfe, die nichts zu wünschen übrig läfst. Die einfache Formel für die Länge des Secundenpendels[1] giebt das Verhältnifs $t = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{2l}{g}}$, woraus für 1 Secunde $g = \frac{\pi^2}{2} l$ folgt, wenn l die Länge des einfachen Secundenpendels bezeichnet. Nach den so eben angestellten Untersuchungen ist es am besten, den Werth von g für den 45sten Breitengrad aufzusuchen und diesen für die übrigen Breitengrade auf die angegebene Weise zu reduciren. Die Länge des einfachen Secundenpendels für diese Breite beträgt 993,534239 Millimeter oder 440,429754 par. Linien, und diesemnach ist nach der deutschen Bezeichnungsart $g = 4{,}9029$ Meter oder 15,09328 par. Fufs; nach der in Frankreich üblichen Bezeichnungsart aber ist $g = 9{,}8058$ Meter oder $= 30{,}18655$ par. Fufs; für irgend eine andere Breite ist dann

$$g' = g\,(1 - 0{,}00260434\ \text{Cos. } 2\varphi).$$

Diese Gröfse, wovon man in der Mechanik sehr häufig Gebrauch macht, ist hier aus den genauesten Pendelmessungen mit genügender Schärfe abgeleitet. Gewöhnlich nimmt man da, wo es auf kleine Unterschiede nicht ankommt, mit Weglassung der Decimaltheile blofs 15 par. Fufs an, die neueren französischen Schriftsteller dagegen haben für die doppelte Gröfse fast ausschliefslich 9,8088 Meter. Egen[2] findet aus den Pendellängen unter 51° 25′ N. B. in rheinischem Fufsmafs $2g = 31{,}26114$ Fufs. Es ist aber in ebendiesem Mafse $g = 15{,}6216$ Fufs und mit der Correction für die Breite $= 15{,}62276$, also $2g = 31{,}24552$, welches von jener um nicht mehr als $-0{,}01562$ Fufs abweicht.

---

1 S. *Pendel.* Bd. VII. S. 309. 373.

2 Untersuchungen über den Effect einiger in Rheinland-Westphalen bestehenden Wasserwerke. Berlin 1831. S. 16.

Neuere Bestimmungen über die Länge des einfachen Secundenpendels, wodurch die gefundene Gröfse eine Abänderung erhalten könnte, sind jedoch bei der Bearbeitung jenes Artikels nicht hinzugekommen, eine Erwähnung verdienen aber die Versuche von Baily[1], den Coefficienten des *Widerstandes der Luft* genauer zu bestimmen. Zu diesem Ende bediente er sich des Mittels, Pendel von der verschiedensten Art im luftverdünnten Raume schwingen zu lassen und die hierdurch erhaltenen Resultate mit denen zu vergleichen, welche eben dieselben in atmosphärischer Luft von gleichfalls bekannter Dichtigkeit gaben. Sein Apparat war wesentlich verschieden von demjenigen, womit Sabine auf dem Observatorium zu Greenwich Versuche angestellt hat, im Ganzen aber stieg die Zahl der verschiedenen gebrauchten Pendel auf 41, die im Verfolg der Versuche noch mehr als verdoppelt wurde, um die verschiedenen Modificationen aufzufinden, welche die Gestalt der Pendel rücksichtlich des erlittenen Widerstandes herbeiführt. Von diesen waren 38 solche, deren man sich bisher zur Auffindung der Länge des einfachen Secundenpendels bedient hat, aufserdem aber prüfte er noch verschiedene Uhrpendel, wie sie für diesen Zweck meistens an einer Uhrfeder aufgehangen werden. Vermittelst dieser Pendel bestimmte Baily die erforderliche Correction. Da es aber zu weitläuftig seyn würde, hier die ganze Art der Berechnung im Einzelnen mitzutheilen, so bemerke ich blofs, dafs er diejenige Gröfse aufsuchte, die von Bessel $= 1 + k$ genannt ist. Aufserdem suchte er das Gewicht der Luft, welche dem Pendel adhärirt und durch dasselbe bei seinen Schwingungen in Bewegung gesetzt wird oder welche, mit dem *centrum oscillationis* vereint, diejenige Verzögerung verursachen würde, die bei den Schwingungen in der Luft zum Vorschein kommt. Wie diese gefunden werde, zeigte Airy durch fol-

---

1 Phil. Trans. 1832. p. 399. Vergl. Art. *Pendel*. S. 345. Die bereits oben erwähnten wichtigen Pendelversuche von Bessel, die zunächst zum Beweise des Satzes dienen sollten, dafs alle Materie gleich schwer sey, ergeben mit den frühern vereint die Länge des einfachen Secundenpendels für die Königsberger Sternwarte = 440,8154 Linien, also nur 0,0007 L. gröfser, als die frühern Versuche allein, was für die ausnehmende Genauigkeit aller hinlänglich bürgt. G. CI. 414.

Digitized by Google

gende Betrachtung. Wenn N die Zahl der Schwingungen eines Pendels in der Luft während eines Tages nach mittlerer Sonnenzeit bezeichnet und ν die Vermehrung dieser Schwingungen, wenn es sich im leeren Raume befindet, ω das Gewicht des Pendels in *grains* Troy-Gewicht, S sein specifisches Gewicht und σ das spec. Gew. der Luft, so nimmt seine Schwere ab im Verhältnifs von $(N+\nu)^2 : N^2$, wofür man genähert $\left(1 + \frac{2\nu}{N}\right)$ setzen kann, und es folgt, dafs das in der Luft schwingende Pendel, statt die Trägheit seines Gewichts ω beizubehalten, blofs die Schwere $= \omega \times \frac{N^2}{(N+\nu)^2}$ oder genähert $= \omega \left(1 - \frac{2\nu}{N}\right)$ behalte, also das Gewicht $\omega \times \frac{2\nu}{N}$ verloren habe. Das Gewicht aber, welches es durch das blofse Vordrängen einer Quantität Luft verloren hat, beträgt $\omega \times \frac{\sigma}{S}$ und diejenige Gröfse, welche hiernach nicht berücksichtigt wird, beträgt $\omega \left(\frac{2\nu}{N} - \frac{\sigma}{S}\right)$. Es läfst sich dieses als ein Zugabegewicht betrachten, welches im *centrum oscillationis* vereint ist. Die wichtigsten unter den erhaltenen Resultaten lassen sich übersehen, wenn man die früher durch Rechnung gefundene Correction, wobei eine Barometerhöhe von 30 engl. Zoll und eine Temperatur von 0° C. vorausgesetzt und angenommen wird, dafs 86400 Schwingungen auf einen Tag gehören, mit der neuen vergleicht, wozu die folgende abgekürzte Tabelle dient.

Art des Pendels.		Alte Correct.	Werth von 1+k	Neue Correct.	Gewicht d. anhäng. Luft in grains.
Kugeln 1,5 Z. Durchmesser	Platin . . .	2″,709	1,881	5″,104	0,496
	Blei	5,003	1,871	9,362	0,468
	Messing . .	7,343	1,834	13,467	0,457
Linse von Blei, 1 Z. dick .		5,000	1,580	7,900	0,438
Lange kupferne Stange . .		6,519	2,932	19,117	4,904
Kater's unveränderl. Meslingp.		6,697	1,590	10,649	8,339
Kater's Revers. Pendel, mit hölzerner Stange.		7,630	2,144	16,356	
		7,630	2,204	16,815	

Im Ganzen verhält sich also die alte Correction zu der eigentlichen neuern wie 1:2,03. Die aus den Pendelmessungen erhaltenen Resultate müfsten hiernach bedeutend unrichtig seyn, allein bei den meisten neuesten Versuchen wurden dieselben Pendel an den verschiedenen Stationen gebraucht oder solche, die auf gleiche Weise construirt waren, und die Fehler heben sich daher auf, wenn man blofs das Verhältnifs ihrer Schwingungszahlen an verschiedenen Orten zu wissen verlangt. Wegen der weitern Untersuchungen, die Pendel betreffend, wie sie Baily mitgetheilt hat, mufs ich auf die schätzbare Abhandlung selbst verweisen.

Die wichtigsten Versuchen zur Auffindung der Gesetze des *freien Fallens* der Körper, zugleich mit Rücksicht auf die Umdrehung der Erde um ihre Axe, sind bereits oben[1] erwähnt worden. Sie wurden indefs seitdem noch durch eine schätzbare Reihe vermehrt, welche Reich und Brendel im Jahre 1831 zu Freiberg angestellt haben, bei denen sich gleichfalls eine aus der Theorie nicht folgende geringe Abweichung der aus beträchtlicher Höhe herabfallenden Körper nach Süden bemerken liefs[2].

---

1 S. Art. *Fall.* Bd. IV. S. 7 ff.

2 Fallversuche über die Umdrehung der Erde, angestellt auf hohe oberamtliche Anordnung in dem Dreibrüder-Schachte bei Freiberg u. herausgeg. von F. Reich. Freib. 1832. 8. Vergl. G. CV. 494.

Das Fallen der Körper, als Folge der Schwere, findet im Allgemeinen blofs auf der Oberfläche der Erde und in verhältnifsmäfsig geringer Erhebung über derselben statt und hierüber sind die Gesetze durch die zahlreichsten Beobachtungen und Versuche hinlänglich bekannt. Selten wird die Gelegenheit dargeboten, den Fall der Körper unter dem Spiegel des Meeres, also im Innern der Erde, zu beobachten, und wo dieses etwa möglich wäre, da ist die Tiefe so aufserordentlich gering, dafs die aufgestellten Gesetze keine mefsbare Abänderung durch die unmerklich gröfsere Annäherung zum Centrum der Erde erleiden können. Man hat jedoch wiederholt ein für die Anwendung völlig unnützes Problem aufgeworfen, nämlich wie ein Körper fallen würde, wenn er von irgend einer Höhe anfangend bis zum Centrum der Erde gelangen und dann noch jenseits seine Bewegung fortsetzen könnte. Die Frage ist bereits durch Brandes[1] genügend in Verbindung mit den Fallgesetzen im Allgemeinen beantwortet worden, ich füge jedoch noch Folgendes hinzu, was mir noch einfacher zu den nämlichen Resultaten zu führen scheint. Zuvörderst läfst sich der Fall, dafs ein durch die Schwere bewegter Körper aus einer gröfsern Höhe herab auf der Oberfläche der Erde ankommt und dann seine Bewegung weiter nach dem Centrum derselben fortsetzt, nicht in einem einzigen analytischen Ausdrucke vereinigen, weil bis zur Oberfläche der Erde die Kraft der Anziehung stets wächst, von da an aber abnimmt. Die Aufgabe mufs daher so gestellt werden, dafs der Körper von der Oberfläche der Erde an zu fallen beginnt, wobei man seine Geschwindigkeit in diesem Puncte $= C$ oder $= 0$ setzen kann. Für die letztere Bedingung sey EC der Halbmesser der Erde $= r$, die Entfernung vom Mittelpuncte $Ca = x$, die Geschwindigkeit eines von der Oberfläche bis a herabgefallenen Körpers $= v$, die Zeit dieses Fallens $= t$, der Fallraum für 1 Secunde in $E = g$, in a aber $= f$, so ist Fig. 285.

$$CE : Ca = 1 : f \text{ und } rf = x \text{ oder } f = \frac{x}{r},$$

weil die Anziehung vom Mittelpuncte der Erde an bis zu ihrer Oberfläche der Entfernung vom Centro oder dem wach-

1 Art. *Fall.* Bd. IV. S. 11.

Digitized by Google

senden Halbmesser direct proportional ist. Nach den Fallgesetzen ist aber bekanntlich $dv = 2g\frac{x}{r}dt$, und da auch hier $v = -\frac{dx}{dt}$ ist, so ergiebt die Multiplication beider Gröfsen

$$v\,dv = -\frac{2gx\,dx}{r},$$

welches integrirt giebt

$$v^2 = -\frac{2gx^2}{r} + \text{Const.}$$

Setzt man für $v = 0$ die Gröfse $x = r$, so ist Const. $= \frac{2gr^2}{r}$ und das vollständige Integral wird

$$v^2 = 2g\left(\frac{r^2 - x^2}{r}\right) \text{ oder } v = \pm\sqrt{2g\left(\frac{r^2 - x^2}{r}\right)}$$

Heifst dann die Linie $a\alpha = p$, die Linie $CB = q$, so ist $v = 2g\frac{p}{q}$, d. h. die Geschwindigkeit eines von der Oberfläche der Erde nach ihrem Centrum fallenden Körpers, die er in irgend einem Puncte in ihrem Innern erlangt hat, verhält sich, wie das Perpendikel auf diesen Punct. Kommt der Körper im Centrum der Erde an, so ist seine Geschwindigkeit $v = \sqrt{2gr}$, also für $2g = 30$ Fufs und $r = 19609050$ Fufs $v = 24254$ Fufs. Um die Zeit zu finden, hat man

$$v\,dt = -dx, \text{ also } dt = -\frac{dx}{v},$$

und hierin den Werth von v substituirt

$$dt = \sqrt{\frac{r}{2g}} \times \frac{-dx}{\sqrt{(r^2 - x^2)}},$$

welches integrirt giebt

$$t = \sqrt{\frac{r}{2g}} \cdot \text{arc. Cos. } \frac{x}{r}.$$

Die Zeit des Fallens eines Körpers von E bis a verhält sich also wie der zugehörige Bogen $E\alpha$. Rückt a bis C hinab, so wird $t = \sqrt{\frac{r}{2g}} \times \frac{EB}{BC} = 1{,}5708\sqrt{\frac{r}{2g}}$, welches für die oben angenommenen Werthe $t = 1270$ Sec. oder 21 Min. 10 Sec. als die Zeit des Fallens von der Oberfläche bis zum Centrum giebt. Diese nämliche Zeit verwendet der fallende

Körper auf jeden Raum, in welchem Puncte zwischen E und C er auch zu fallen anfangen mag. Ist nämlich diese Entfernung $= n$, so wird aus der obigen Gleichung für v

$$v = \sqrt{\left(\frac{2g}{r}(n^2 - x^2)\right)},$$

$$\text{also } dt = \sqrt{\frac{r}{2g}} \times \frac{dx}{\sqrt{(n^2 - x^2)}},$$

$$\text{mithin } t = \sqrt{\frac{r}{2g}} . \text{arc. Cos.} \frac{x}{n}$$

$$\text{und für } x = 0 \text{ ist } t = \sqrt{\frac{r}{2g}} . \text{arc. Cos. } 0 = 1{,}5708 \sqrt{\frac{r}{2g}},$$

Indem aber der Körper vermöge der erhaltenen Geschwindigkeit ebenso weit fortgetrieben wird, als er herabgefallen ist, so würde derselbe von der Oberfläche an bis zum Centrum gelangt nach dem Trägheitsgesetze wieder bis zur entgegengesetzten Oberfläche gelangen, wo seine Geschwindigkeit $= 0$ werden, er aber dann sogleich den Fall nach entgegengesetzter Richtung wieder beginnen und auf dem Wege durch die ganze Erde 42′ 20″, bis zur Rückkehr an seinen ersten Ort aber 1 Stunde 24 Min. 40 Sec. gebrauchen würde.

Man pflegt die Gesetze der beschleunigten Fallgeschwindigkeit in der Regel vermittelst der *Atwood'schen Fallmaschine* zu erläutern, die bereits oben [1] beschrieben worden ist. Sonst bedient man sich auch wohl einer geneigten Ebene, auf welcher ein geeigneter kleiner Wagen mit verschwindender Reibung oder eine elfenbeinerne Kugel herabrollt und in gleichen Zeiten vermehrte Räume zurücklegt. Neuerdings hat Aldini [2] eine andere Maschine angegeben, womit zwar die Fallgeschwindigkeit nicht mit der erforderlichen Schärfe, wohl aber die Widerstände gefunden werden, welche die Körper beim Fallen erleiden. Diese besteht aus einem massiven Fufsbrete mit Stellschrauben zur horizontalen Richtung und mit einer Vertiefung B, worin sich Sand oder ein sonstiger weicher Körper befindet, um das harte Aufschlagen des fallenden Ge- Fig. 286.

1 S. *Fallmaschine*. Bd. IV. S. 30.

2 Bibl. univ. Sc. et Arts. T. LI. p. 77. aus Memorie dell' Instituto Italiano. Classe di Fisica cet. T. I. p. 487. Auch in Novi Saggi di Padova T. 1. p. 127. Von Dal Negro.

Digitized by Google

wichtes G zu mildern. Auf dem Fufsbrete steht eine verticale, in gewisse Abtheilungen eines Längenmafses getheilte Säule mit einem verschiebbaren Zeiger, um danach die Fallhöhe des Gewichtes G abzumessen. Oben an der Säule befindet sich eine verticale, in 500 Theile getheilte Scheibe, vor welcher ein Zeiger A umläuft, welcher an einer Rolle festsitzt, um die eine Schnur geschlungen ist, an welcher das kleine Gewicht g hängt. Die Rolle ist auf ihrem Rande rauh gemacht oder gefurcht, um durch das aufliegende gleichfalls gefurchte Ende des längeren Hebelarmes L′ durch den Druck sogleich zum Stillstande gebracht zu werden. Das andere kürzere Ende des Hebels L ist so abgeschnitten, dafs das Hebelstück D mit der Ebene seines Endes genau auf dessen Ebene pafst und den Faden des Gewichts G fest zwischen beiden klemmt. Da der Hebelarm L′ an sich ein Uebergewicht über den andern L hat, so wird er herabfallen, und es werden dann zu gleicher Zeit beide Gewichte g und G herabzufallen beginnen, sobald man den Hebelarm E mit der Hand hebt und den zwischen L und D festgeklemmten Faden löset. Während dann G von einer bestimmten Höhe herabfällt, fällt auch g, drehet dadurch die Rolle P um ihre Axe und der Zeiger A mifst die kleinen Theile dieser Umdrehung. Da aber der Fall von g ein beschleunigter ist, so kann man die Bewegung des Zeigers in eine gleichmäfsige verwandeln, wenn man der Rolle eine Spiralform giebt, deren Windungen in dem Verhältnisse der Zahlen $1:3:5:7\ldots$ zu einander stehn. Will man diese Gröfsen auf bestimmte Fallhöhen und Zeiten reduciren, so dient hierzu die bekannte Formel $h = g\,t^2$, worin h die Höhe, t die Zeit in Sexagesimalsecunden und g den Fallraum in 1 Secunde bezeichnet. Nobili benutzte die Maschine zunächst, um den Widerstand der Luft gegen zwei fallende Körper von gleichem Volumen und ungleichem Gewichte zu bestimmen, desgleichen zur Auffindung des Widerstandes, welchen ungleiche Flüssigkeiten den fallenden Körpern von gleicher Masse oder gleichem Volumen entgegensetzen, endlich auch um die Fallgesetze der Körper in Flüssigkeiten zu untersuchen, die selbst in Bewegung sind. Ob übrigens die Maschine für so feine Versuche hinlängliche Genauigkeit zuläfst, ob z. B. der Hebelarm L′ schnell genug losläfst und die Rolle keine kleine Fehler durch Reibung ihrer Zapfen

Digitized by

herbeiführt, wage ich nicht zu entscheiden, da der Erfinder die Resultate seiner Versuche nicht angiebt.

Es ist verschiedentlich, unter andern von v. Langsdorf[1], eine Modification der Schwere in Anregung gebracht worden, welche auf gleiche Weise aus dem Umschwunge der Erde um die Sonne entstehn soll, als eine solche durch die Rotation der Erde entsteht, und wonach somit ein Unterschied der *Tagschwere* und der *Nachtschwere* statt finden müfste. Ein geringer Unterschied dieser Art findet allerdings statt, allein dieser ist so unbedeutend, dafs man ihn mit Recht stets vernachlässigt hat und auch das feinste Pendel ihn nicht merkbar machen kann. Unrichtig ist zuvörderst die Ansicht, als wenn die der Sonne zugewandten Theile der Erde durch den Umschwung der letzteren in ihrer Bahn um die Sonne gegen diese hingetrieben, die von der Sonne abgewandten aber von derselben weggetrieben würden und hieraus ein Unterschied der Schwere bei Tage und bei Nacht entstände. Man mufs vielmehr berücksichtigen, dafs das Centrum der Erde ebensowohl gegen die Sonne gravitirt, als beide einander diametral gegenüber stehende, in einer durch die Mittelpuncte beider Körper gehenden Linie liegende Puncte ihrer Oberfläche. Alle drei sind daher in relativer Ruhe[2], indem ihre gemeinschaftliche Gravitation gegen die Sonne die Beschaffenheit der Erdbahn bedingt. Entstände jedoch hieraus ein Einflufs, so müfsten blofs die der Sonne zugewandten Körper durch die Anziehung dieses Weltkörpers an Schwere verlieren; die richtige Erklärung der Ebbe und Fluth zeigt jedoch, dafs eine solche Verminderung beide entgegengesetzte Seiten der Erde trifft. Der Unterschied der Tagschwere und der Nachtschwere soll auch blofs daraus hervorgehen, dafs der Radius des Kreises, worin sich ein Punct um Mittag bewegt, kleiner ist als um Mitternacht. Nehmen wir also den einfachsten Fall, welcher zugleich den gröfsten Werth giebt, dafs sich die Sonne im Nachtgleichenpuncte befindet, der Körper aber im Aequator der Erde, den Einflufs der Axendrehung der letzteren bei Seite gesetzt, und berechnen wir hiernach den Unterschied der Schwungkräfte beider $= \Delta k$, so ist für den Halbmesser der Erdbahn

---

1 Heidelb. Jahrb. d. Lit. Intell. Bl. 1823. N. IV.

2 Benzenberg Versuche über die Umdrehung d. Erde. S. 72.

$= r = 20{,}5$ Mill. Meilen und den Durchmesser der Erde $d = 1719$ Meilen die Schwungkraft eines Körpers um Mittag $k = \frac{v^2}{r}$, um Mitternacht $k' = \frac{v^2}{r+d}$, mithin $\Delta k = \frac{k'-k}{k'}$. Berücksichtigen wir ferner, dafs sich die Geschwindigkeiten wie die durchlaufenen Räume, diese aber wie die Radien verhalten, und nennen wir demnach $k = 1$, so ist $k' = 1{,}00008385$, mithin $\Delta k = 0{,}000083842\ldots$ Um diese Gröfse mit der Schwere zu vergleichen, oder $\frac{v^2}{r} : 2g$ genommen, sey die Bewegung der Erde in 24 Stunden $= 358700$ Meilen, also in einer Secunde nahe genau 94827 Fufs, wonach die Schwungkraft den $0{,}0006385\ldots$ten Theil der Schwere beträgt. Die Differenz der Tagschwere und Nachtschwere, wie sie durch die Schwungkraft der Erde im Weltraume hervorgebracht wird, beträgt also $0{,}0006385\ldots \times 0{,}000083842\ldots = 0{,}00000005355$ der Schwere, eine in die achte Decimalstelle fallende und daher unmefsbare Gröfse, indem ein Körper hiernach nur 0,0000008 Fufs weniger oder mehr fallen würde.

Dafs die Anziehung der Sonne und des Mondes (den verschwindenden Einflufs der Planeten nicht zu erwähnen) auf die Schwere der auf der Erdoberfläche befindlichen Körper einen Einflufs haben müsse, liegt im Wesen der Schwere und zeigt sich auch in den Erscheinungen der Ebbe und Fluth. Wenn nach dem Newton'schen Gravitationsgesetze der Mittelpunct der Erde mit einer den Massen direct und den Quadraten der Abstände umgekehrt proportionalen Kraft angezogen wird, so erhält die Schwere eines auf ihrer Oberfläche befindlichen Körpers dadurch eine Verminderung, welche im directen Verhältnisse der Masse des anziehenden Körpers und im umgekehrten des Cubus seiner Entfernung steht[1]. Den einfachsten Fall also angenommen, dafs beide genannte Himmelskörper im Zenith stehen, die Masse der Erde und ihren Radius $= 1$ gesetzt, die Masse der Sonne $= 329630$, ihre mittlere Entfernung $= 24433$ Erdhalbmesser, die Masse des Mon-

---

1 Vergl. *Ebbe u. Fluth.* Bd. III. S. 23. Bohnenberger Astronomie S. 680. Hiernach lassen sich v. Arnim's und Gilbert's Vorstellungen in Annal. d. Phys. VIII. 87 berichtigen. Vergl. Benzenberg ebend. XV. 110.

des = 0,0146 und seine mittlere Entfernung = 60 Erdhalbmesser, die Anziehung der Erde gegen einen Punct in ihrer Oberfläche endlich = 1, so würde die Anziehung der Sonne = 0,0000000226 = $\frac{1}{44255000}$, des Mond s = 0,0000000676 = $\frac{1}{14795000}$ betragen. Beide Gröfsen stehen im Verhältnifs wie 1 : 3, was mit den Beobachtungen der Ebbe und Fluth übereinstimmt, sind aber, obgleich hier im Maximo angenommen, dennoch so gering, dafs sie bei irdischen Erscheinungen der Schwere sich jeder Beachtung entziehn. Die Summe beider beträgt nämlich nur 0,0000000902 und ein Körper würde durch sie gehindert nur 0,000001353 Fufs weniger fallen.

Jene erstere Einwirkung sollte nach der Ansicht einiger Naturforscher einen Einfluſs auf den Gang der Pendeluhren bei Tage und während der Nacht ausüben, welcher sich jedoch der angegebenen Theorie gemäfs in der Erfahrung nicht findet, die letztere aber müsse sich, wie man glaubte, an sehr langen Pendeln durch eine periodische Abweichung derselben zeigen. Namentlich wollte Calignon de Peirins, ein Freund Gassendi's, an einem 30 Fufs langen Pendel eine mit der Ebbe und Fluth zusammenfallende Bewegung bemerkt haben, nach welcher dasselbe von 6 zu 6 Stunden etwas nach Norden rücke und wieder zurückkehre. Gassendi nannte dieses *Reciprocation* des Pendels (*Reciprocatio penduli;* Reciprocation du pendule, von *reciprocatio maris*, der Ebbe und Fluth) und einen solchen Apparat ein *Reciprocationspendel.* Die Sache wurde mehrfach behauptet und bestritten [1] und Bouguer gab sich die Mühe zu zeigen, dafs die Bewegungen solcher Pendel seinen Versuchen gemäfs durchaus keine Regelmäfsigkeit zeigten [2]. Später haben Riccioli und Grimaldi, Mersenne, Andreas Mayer [3] und andere darüber gehandelt, neuerdings hat Benzenberg [4] das Problem wieder in Anregung gebracht

---

1 Hist. de l'Acad. 1742.

2 Mem. de Paris. 1754. p. 250.

3 De deviatione et reciprocatione penduli. Gryphisw. 1776.

4. Vers. über die Umdrehung d. Erde S. 67, wo man die Geschichte der früheren Verhandlungen erzählt findet.

Digitized by Google

und den Gebrauch langer und sehr empfindlicher Wasserwaagen, so wie Beobachtungen zu der Zeit, wenn sich die genannten Himmelskörper im Horizonte befinden, in Vorschlag gebracht, allein alle darüber angestellte Versuche führen zu keinem Resultate, wie aus dem Ergebnifs der Theorie von selbst folgt.

Die Schwere ist bei den bisherigen Untersuchungen als Folge einer durch Erfahrung erkannten Kraft, der *Anziehung*, betrachtet worden, ohne das eigentliche Wesen derselben zu berücksichtigen. Man hat Letzteres jedoch oft zu erklären versucht, ohne jemals damit zu einem genügenden Resultate gelangt zu seyn. Aristoteles [1] sagt im Allgemeinen, es gäbe schwere und leichte Körper, jene mit dem Bestreben, sich nach dem Mittelpuncte der Erde zu bewegen, diese mit dem Triebe, denselben zu fliehen. Hieraus machten die Scholastiker nachher eine *qualitas occulta* und vertieften sich darüber in Spitzfindigkeiten, weil die Erfahrung zu ihrer Theorie nicht pafste; einige leugneten die Schwere überhaupt und nahmen an, die Körper drückten blofs deswegen gegen ihre Unterlagen, weil sie weniger leicht als andere seyen. Keppler [2] versuchte zuerst wieder, die Schwere mechanisch zu erklären, verlor sich dabei aber in unnatürliche Fictionen. Hiernach liegt die Ursache der Schwere in gewissen feinen, um die Erde bewegten Ausflüssen (*spirantibus effluviis*), welche die Körper herabziehen. Einige Gelehrte wurden durch die Undeutlichkeit seiner Ausdrücke verleitet anzunehmen, er rede von geistigen Wesen, z. B. Saverius [3], welcher darin eine Andeutung fand, dafs diese Untersuchungen die Kräfte des menschlichen Verstandes überstiegen. Gassendi nahm statt der umkreisenden Ausflüsse Strahlen einer feinen, aus dem Mittelpuncte der Erde ausgehenden (vielleicht magnetischen?) Materie an, welche die Körper nach sich zurückzögen, Casatus aber behauptete, die Körper seyen nur darum schwer, weil sie nicht an ihrem rechten Orte sich befänden [4]. Man begreift jetzt kaum, wie den-

---

1 De Coelo. Lib. IV. cap. 4. Problemata Sect. XXV. quaest. 13.

2 Epit. Astron. Copern. Lentiis ad Danub. 1618. 8. L. I. p. 95.

3 Dict. de Math. et de Phys. Art. Pesanteur.

4 Vergl. Buisson Traité élém. ou Principes de la Physique. T. I. p. 165.

Digitized

kende Männer auf solche nichts sagende Hypothesen verfallen konnten.

Am meisten Aufsehn hat geraume Zeit das System des Cartesius[1] erregt und viele Physiker haben dasselbe durch neue gewagte Hypothesen zu vertheidigen gesucht. Hiernach streben die Kügelchen des ersten und zweiten Elements sich in geraden Richtungen zu bewegen. – Weil sie aber durch die grobe Masse der Erde daran gehindert werden und den Weg verfolgen müssen, welchen ihnen die Zwischenräume der gröberen Theile offen lassen, so streben sie wenigstens, sich diese Wege so geradlinig und kurz zu machen, wie möglich. Dieses findet statt, wenn die ganze hindernde Masse kugelförmig ist; ragt aber ein Theil über die Kugelfläche hinaus, so stofsen die Kügelchen von aufsen mit mehr Gewalt gegen ihn, als gegen die übrige Oberfläche, und treiben ihn nieder, ist ein Theil unter die Oberfläche vertieft, so stofsen die inwendig durchgehenden Kügelchen stärker gegen ihn und treiben ihn nach oben. Hieraus entsteht die runde Gestalt der Erde, der Wassertropfen u. dgl., so wie auch die Schwere, welche die Körper nach dem Mittelpuncte treibt. Schwebt in der Luft ein Körper, welcher mehr grobe Masse hat, als ein gleiches Volumen Luft, so findet die feine Materie in ihm weniger Wege zum Durchgange, als in der Luft, treibt daher unverweilt den Körper nieder und bringt Luft an seine Stelle. Das Gewicht richtet sich daher nicht nach der Masse der Körper, sondern nach dem Unterschiede zwischen der Menge der Kügelchen des ersten und zweiten Elements und der gröberen Materie, welche sich in dem Raume des schweren Körpers und in einem gleichen Volumen des ihn umgebenden Mittels befinden können. Vielleicht hat z. B. das Gold nur viermal mehr grobe Masse, als das Wasser, wiegt aber dennoch neunzehnmal mehr, weil die Theile des Wassers in steter Bewegung sind, also mehr feine Materie durchlassen und daher in Vergleichung mit festen Körpern mehr Leichtigkeit besitzen.

Auch Hooke und Vossius dürfen als Anhänger des Cartesius betrachtet werden, sofern sie die Schwere von einer feinen Flüssigkeit ableiteten, wobei nach Letzterem jedoch der

---

1 Ren. Cartesii Principia philosophiae. Amst. 1685. 4. Lib. IV. prop. 19—25. Vergl. *Materie*.

Umschwung der Erde nothwendige Bedingung der Wirksamkeit des Aethers seyn sollte[1]. Halley dagegen und Clarke wollten der Theorie von einem Aether nicht beipflichten, sondern betrachteten die Schwere als eine unmittelbare Wirkung der Gottheit, welche die Körper einmal in Bewegung gesezt habe[2].

Eigentlich liegt die hier angegebene lothrechte Bewegung der feineren Materie nicht nothwendig im Systeme des Cartesius, vielmehr bewegen sich die Wirbel in der Richtung des Aequators oder mit ihm parallel von Westen nach Osten, woraus jedoch das Problem der Schwere nicht unmittelbar erklärlich wird. Um diesen Mangel zu verbessern, läfst Huyghens[3] die feine ätherische oder schwermachende Materie sich nicht mit dem Aequator parallel bewegen, sondern sich in dem sphärischen Raume, worin sie enthalten ist, nach allen möglichen Richtungen bewegen. Diese Bewegungen hindern und vermindern einander so lange, bis sich die Materie in lauter gröfsten Kreisen bewegt, die sich überall schneiden und in concentrischen Kugelflächen alle mögliche Richtungen annehmen. Indem hiernach der Stofs von allen Seiten erfolgt, kann er keine horizontale Bewegung veranlassen, sondern mufs die Körper nach dem Centrum der Erde treiben. Weil indefs eine solche Bewegung des Aethers an sich undenkbar ist, so waren die eifrigsten Cartesianer mit dieser Verbesserung nicht zufrieden. Indefs erklärte Huyghens sehr glücklich, oder er glaubte dieses wenigstens, wie eine Kreisbewegung Körper, die ihr nicht schnell genug folgen können, nach dem Mittelpuncte treibe, indem die im Kreise bewegte Materie gegen dieselben stöfst, sie aus der Stelle treibt und nicht eher ruhen läfst, als bis sie in die Mitte gedrängt sind. Dieser Satz wurde noch obendrein durch einen sinnreichen Versuch bestätigt. Huyghens füllte ein cylindrisches Glas von 4 bis 5 Zoll Höhe und 8 bis 10 Zoll Durchmesser mit Wasser, warf Stückchen zerriebenen Siegellacks hinein und drehete es vermittelst einer Centralmaschine schnell um seine Axe. War alles Wasser in eine hinlänglich schnelle drehende Bewegung versetzt, so hielt

---

1 Birch History of the Royal Soc. II. 72 u. 91.
2 Rohaultii Tractatus phys. ed. Clarke. II. cap. 2.
3 Dissert. de causa gravitatis. In Opp. rel. T. I. p. 93.

Digitized by Google

er die Maschine an, worauf dann das Siegellack gegen die Mitte getrieben wurde, weil es, wie er meinte, durch Reibung am Glase seine Kreisbewegung verloren hatte. Somit glaubte also Huyghens die Ursache der Schwere in der Kreisbewegung des Aethers nachgewiesen zu haben, und da die Schwungkraft unter dem Aequator $\frac{1}{289}$ der Schwere ausmacht, so nahm er an, dafs die Geschwindigkeit der Bewegung des Aethers sich zur Geschwindigkeit der Axendrehung der Erde verhalte, wie $\sqrt{289} : \sqrt{1} = 17 : 1$, oder die Geschwindigkeit der Körper unter dem Aequator 17mal übertreffe[1].

Dafs Newton diese Wirbeltheorie gekannt habe, ist nicht zu bezweifeln, wenn man berücksichtigt, dafs er die Schriften des Cartesius fleifsig studirte und gegen diesen sowohl, als auch gegen Huyghens grofse Achtung hegte[2]. Desto gewisser aber ist, dafs er niemals ein eigentlicher Anhänger derselben war. Im Allgemeinen liebte er die hypothetischen Speculationen nicht, sondern er experimentirte und baute seine Schlüsse auf die dem Calcül unterworfenen Resultate seiner Versuche. Inzwischen war das Ansehen des Cartesius so grofs, dafs Newton beim Beginnen seiner Studien sich nicht füglich als Gegner desselben erklären konnte, auf jeden Fall aber war es ihm unmöglich, die Hypothese von der Existenz eines Aethers zu widerlegen, weswegen er, wenn auch nur aus der ihm natürlichen Nachgiebigkeit und versuchsweise, die optischen Erscheinungen und selbst die allgemeine Anziehung auf die Wirkungen eines Aethers zurückführte[3]. Hiernach war ein höchst feiner und zugleich elastischer Aether überall verbreitet, durchdrang zugleich die festen Körper, deren Poren um so viel weniger von ihm erfüllt sein sollten, je enger sie wären. Wurden diesemnach zwei Körper mit ebener Fläche einander genähert, so mufste der Aether stets mehr zwischen ihnen schwinden und eben hierdurch sein äufserer Druck

---

1 Weitere Erläuterungen dieser Theorie giebt Hamberger in Dissert. de experimento ab Hugenio pro causa gravitatis explicanda invento. Ien. 1723. 4. Vergl. Nollet in Mém. de l' Acad. 1741. p. 184.

2 Newtoni vita. In Opusc. T. I. XXII.

3 Epist. ad Rev. Boylium. In Newt. Opp. ed. Horsley. T. IV. p. 385. Vergl. Bibl. univ. T. XXI. p. 239.

wachsen, woraus die Adhäsion, Capillarattraction u. s. w. erklärbar seyn sollten. Im Mittelpuncte der Erde mufste dieser Aether verschwindend dünn seyn, nach aufsen aber an Dichtigkeit wachsen, wodurch also die Körper in der Nähe der Erde gegen ihr Centrum getrieben wurden[1].

Inzwischen wurde diese Hypothese sofort von ihm verlassen, als sein Scharfsinn entdeckt hatte, dafs die Gravitation der Himmelskörper auf das einfache Gesetz der Schwere zurückgeführt werden könne, wonach also die Annahme eines drückenden Aethers nicht länger zulässig war, indem dieser im mittleren Abstande zweier Himmelskörper seine gröfste Dichtigkeit haben mufste und daher keine Gravitation zuliefs. Von dieser Zeit an bemühete Newton sich nicht weiter, die eigentliche Natur und die Ursache der Gravitation zu ergründen, indem er vielmehr die gesammten Erscheinungen derselben auf die genauer bestimmten Gesetze der Schwere zurückzuführen suchte. Nach einer bekannten Anekdote soll Newton durch die zufällige Beobachtung eines fallenden Apfels zur Auffindung des allgemeinen Gravitationsgesetzes veranlafst worden seyn. Es scheint mir dieses jedoch im höchsten Grade unwahrscheinlich, da der Fall der Körper eine allgemein bekannte, einem jeden unzählbar oft vorkommende Erscheinung ist, wovon man die Ursache zu jenen Zeiten, wie Newton wohl wufste, in den Cartesischen Wirbeln zu finden glaubte, deren Nichtigkeit eben erst aus dem Gesetze der allgemeinen Schwere folgte; aufserdem aber wäre es ein allzukühner hypothetischer Sprung gewesen, von einer auf unserer Erde sich in dieser Gestalt zeigenden Erscheinung sofort auf eine den Himmelskörpern eigenthümliche Kraft zu schliefsen. Weit wahrscheinlicher ist dagegen anzunehmen[2], dafs das Nachdenken über die in den gröfsten mefsbaren Höhen über der Erde nur unmerklich abnehmende Schwere die natürliche Frage veranlafste, ob dieselbe sich nicht auch bis zu den Himmelskörpern erstrecke. Kaum zu bezweifeln ist dann, dafs die scharfe Auffassung der Keppler'schen Gesetze und die Con-

---

1 Vergl. Opt. qu. 21. Hutton Dict. T. I. p. 592.

2 Vergl. Sir Isaak Newton's Leben nebst einer Darstellung seiner Entdeckungen von D. Brewster. Ueb. von B. M. Goldberg mit Anm. von H. W. Brandes. Leipz. 1833. S. 118. Cap. XI.

Digitized by Google

struction der Planetenbahnen nach diesen den Gedanken herbeiführte, die nämliche Anziehung, welche die Körper zur Erde führe, möge auch wohl den Mond in seiner Bahn um dieselbe erhalten und die Planeten auf gleiche Weise von der Tangente ihrer Bahn nach der Sonne hin ablenken. Dieses hat um so mehr Wahrscheinlichkeit für sich, als Newton[1]

---

1 Newton schrieb an Halley am 14. Juli 1686: „Was die doppelte Proportion betrifft, so erhielt ich sie aus Keppler's Lehrsatz „vor ungefähr zwanzig Jahren." S. Brewster a. a. O. S. 119. Diese Zeitbestimmung führt auf das Jahr 1666, als Newton sich der Pest wegen von Cambridge entfernte und auf sein Landgütchen nach Woolsthorpe begab, wo der Fall eines Apfels Veranlassung zu jener wichtigen Entdeckung gegeben haben soll. Biot (in seiner Lebensbeschreibung Newton's in Biographie universelle) nimmt die Anekdote in Schutz, weil dieselbe mit der Erzählung Pemberton's (View of Sir Is. Newton's Philosophy, Pref.), dafs Newton 1666 zu Woolsthorpe in der Einsamkeit über das Gesetz der allgemeinen Schwere nachgedacht habe, genau übereinstimme. Dieses ist allerdings richtig, auch ist im Texte gezeigt, wie bedeutend weit ihn seine Untersuchungen schon damals führten, er konnte diese aber nicht fortsetzen, weil ihm die genaueren Bestimmungen der Gröfse der Erde und also auch der Mondsbahn fehlten. Seine optischen Versuche zogen ihn nachher vom weiteren Verfolge dieses Gegenstandes ab, bis Dr. Hooke 1678 durch das Problem, welche Bahn ein lothrecht von der Erde aufwärts geworfener Körper beschreiben würde, ihn zur Entdeckung des berühmten Satzes leitete, dafs ein Planet, auf den eine mit dem Quadrate der Entfernung im umgekehrten Verhältnisse stehende anziehende Kraft wirkt, eine elliptische Bahn beschreiben müsse, in deren einem Brennpuncte der anziehende Körper sich befinde (Brewster a. a. O. S. 120. aus Biographia Britannica p. 2662). Biot beruft sich ferner auf Voltaire (Élémens de la philosophie Newtonienne Chap. 3), welcher jene Erzählung als eine von der Madame Conduit ihm mitgetheilte angiebt, und endlich finde man auch ausdrücklich bei Turnor (collections for the History of the Town and Soke of Grantham p. 160) eine Erzählung des Herrn Conduit, dafs Newton den Gedanken an die Gravitation zuerst aufgefafst habe, als er einen Apfel vom Baume fallen sah. Noch vor 15 Jahren, setzt Biot hinzu, zeigte man im Garten zu Woolsthorpe den Apfelbaum, der durch diese Geschichte eine seltene Celebrität erhalten hatte. Dieses, was Brandes in einer Anmerkung S. 321. des angez. Werks mittheilt, kann noch durch die Angabe Brewster's a. a. O. S. 289. ergänzt werden, dafs der Baum vor einigen Jahren vom Winde umgeworfen, aber von Turnor in Gestalt eines Stuhles aufbewahrt wurde. Brewster setzt hinzu: „die „Anekdote vom fallenden Apfel wird weder von dem Dr. Stukely noch „von Conduit erwähnt, und da ich nirgend eine Autorität dafür finden

selbst sagt, Keppler's Lehrsatz habe ihn darauf geleitet, eine den Quadraten der Entfernung proportionale Abnahme der Schwere anzunehmen.

Die durch Huyghens etwas modificirte Theorie des Cartesius wurde noch geraume Zeit nach der Bekanntwerdung von Newton's richtigern Ansichten von vielen vertheidigt, denn selbst die englischen Physiker huldigten nicht alle dem überlegenen Genie ihres Landsmannes. Anhänger des Cartesius, für dessen Gegner von jener Zeit an Newton galt, waren unter andern Saurin[1], de Molières[2], Malebranche und andere. Bülfinger[3] in seiner bekannten Preisschrift nimmt an, die feine Materie bewege sich nicht blofs um zwei auf einander senkrechte Axen zugleich, sondern mache auch um jede dieser Axen zwei einander entgegengesetzte Bewegungen, so dafs also vier sich durchkreuzende, aber nicht störende Wirbel statt fänden. Inzwischen erkannte er sehr wohl das Gewagte und Ungenügende einer solchen Hypothese und erklärte offen, es sey dieses nur ein Versuch, etwas zu sagen, um nicht ganz über die Sache zu schweigen. Jakob Bernoulli[4] läfst die Säulen der feinen Materie vermöge ihrer Schwungkraft sich gegen die Materie im Himmelsraume stemmen und dadurch Körper, die weniger Schwungkraft haben, zurückgetrieben werden. Varignon[5] leitet die Schwere

---

„konnte, so nahm ich mir nicht die Freiheit, Gebrauch davon zu „machen." Ich selbst bin lebhaft von der Nichtigkeit derselben überzeugt, da es ohnehin Newton nicht ähnlich sieht, mit seinem grofsen Geiste bei einer solchen Kleinigkeit, die viele hundertmal von ihm beobachtet blofs zufällig eine Idee in ihm rege machen konnte, lange zu verweilen. Hätte dieses jedoch wirklich statt gefunden, so könnte er blofs mit der Madame Conduit sich darüber unterhalten haben, deren Aussage die einzige Autorität für die ganze Erzählung zu seyn scheint. Weit glaubwürdiger scheint es mir dagegen, dafs Newton aus der ihm eigenen Freundlichkeit gegen diese seine ihm liebe Wirthin dieser die Fallgesetze durch den Fall eines Apfels anschaulich zu machen suchte und diese nachher diese Erläuterung mit der Auffindung des Gravitationsgesetzes in Verbindung brachte.

1 Hist. de l'Acad. T. I. p. 63. Desgl. 1709. p. 131.

2 Ebend. 1729. p. 235.

3 De Causa gravitatis cet. In: Recueil des Pièces qui ont remporté le prix. Par. 1728. 4. T. II. Comment. Pet. I. 245.

4 De gravitate aetheris. Amst. 1683. 8. p. 72.

5 Conjectures sur la Pesanteur. Par. 1691. 8.

Digitized by Google

von dem ungleichen Drucke einer flüssigen Materie auf die Körper her und glaubt, dafs, wenn ein Körper so weit von der Erde abstände, dafs unter ihm und über ihm gleich hohe Säulen der flüssigen Materie befindlich wären, er still stehn, in noch gröfserem Abstande aber sich von der Erde entfernen würde. Villemot[1] erklärt die Schwere auf eine seltsame Weise aus dem Drucke des Centralfeuers oder einer siedenden Materie im Mittelpuncte der Erde und der Planeten. Auch Nicol. Fatio Duillerius[2] redet viel von einer neuen Theorie zur Erklärung der Schwere und verschiedener anderer Naturerscheinungen, in der Hauptsache nahm aber auch dieser an, das ganze Universum sey mit einer sehr feinen und höchst schnell nach allen Richtungen, hauptsächlich aber geradlinig bewegten ätherischen Substanz erfüllt, welche hierbei zwar im Allgemeinen wegen ihrer Feinheit die Erde durchdringe, zum Theil aber auch gegen ihre Theile stofse, dadurch die Erscheinungen der Schwere erzeuge und doch nur unmerklich in ihrer Bewegung verzögert werde. Selbst Leibnitz war mindestens kein Anhänger Newton's, indem er sogar noch 1715 in einem Briefe an Conti sagte[3]: „Ich bin ein „grofser Freund von der Experimentalphysik, aber Newton „weicht davon sehr ab, wenn er behauptet, dafs jede Materie „schwer ist oder dafs jedes Theilchen der Materie jedes andere anzieht." Johann Bernoulli[4] dagegen wollte die Theorie der Wirbel mit den Newton'schen Ansichten vereinigen, und setzt daher in die Mitte der Erde und jedes Planeten eine Centralsonne, aus welcher die feine Materie in geraden Strahlen ausströme, aber in kleinen Flocken von 3 oder 4 und mehrern Kügelchen zurückkehre. Diese Flocken bilden nach seiner Ansicht einen Centralstrom, und da sie wegen ihrer Gröfse die Körper nicht frei durchdringen können, so stofsen sie gegen ihre kleinsten Theile und treiben sie gegen den Mittelpunct oder die Centralsonne.

Alle diese verschiedenen Systeme, welche insgesammt auf die Cartesische Hypothese von Wirbeln gestützt sind, stellt

---

1 Nouveau Système ou nouvelle explication du mouvement des Planètes. Lyon 1707. p. 182.

2 Aus ungedruckten Briefen in Bibl. univ. XXIII. p. 83.

3 Newton's Leben von Brewster. S. 175.

4 Oeuv. T. III. p. 146.

Maupertuis[1] zusammen, findet es schön, wenn man einfach alles in der Natur auf Materie und Bewegung zurückführen könne, bemerkt aber zugleich, dafs dieses durch die aufgestellte Hypothese noch keineswegs genügend geschehn sey, abgesehn davon, dafs die Existenz der Bewegung und Materie auf das Bedürfnifs derselben zur Erklärung der Naturphänomene nicht füglich gegründet werden könne. Der Beifall, welchen das Cartesische System lange Zeit genofs, beruhte zum Theil mit darauf, dafs es die Phantasie beschäftigte und dadurch seine bedeutende Schwäche verhüllte, nämlich die, dafs es die Erscheinungen, genau genommen, nicht erklärt, sondern die Erklärung blofs eine Stufe weiter hinausschiebt. Denn gesetzt auch, die Schwere liefse sich aus der Bewegung oder dem Drucke des Aethers erklären, so müfste man doch weiter fragen, was der Aether seinem Wesen nach sey und wodurch er selbst seine Bewegungen erhalten habe. Dieses fühlte Newton sehr wohl, indem er das *Wesen der Anziehung* nicht erklären wollte, welches nach Lichtenberg[2] erst noch eine weit gröfsere Kenntnifs aller Thatsachen, als unsere jetzige ist, voraussetzt; vielmehr begnügte er sich damit, die gesammten Erscheinungen der Attraction zu einem in sich consequenten Systeme zu vereinigen.

Seitdem durch die Resultate der Gradmessungen und genauerer Pendelbeobachtungen Newton's Gesetz der Schwere eine auffallende Bestätigung erhalten hatte, haben nur wenige versucht, das Wesen derselben zu erklären. Sehr dunkel, eben daher auch wenig beachtet, ist dasjenige, was Cadwallader Colden[3] also Erklärung derselben angiebt. Viel Aufsehn dagegen hat die Hypothese erregt, die Le Sage aufstellte, vorzüglich deswegen, weil sie in dem kenntnifsreichen ältern De Lüc einen Vertheidiger fand. Das Hauptwerk, worin Le Sage den gröfsten Theil der Naturerscheinungen auf ein allgemeines Gesetz zurückführen wollte, ist niemals

---

1 Discours sur les différentes Figures des astres. In Oeuv. de Maupertuis. Lyon 1768. 8. T. I. p. 104.

2 Erxleben's Naturlehre. 6te Aufl. S. 86.

3 Erklärung der ersten wirkenden Ursache in der Materie und der Ursache der Schwere. Aus d. Engl. von Kaestner. Hamburg 1748. 8.

Digitized by Google

erschienen und man kennt daher sein System nur aus vorläufigen Schriften von ihm selbst[1] und aus einigen Mittheilungen seiner Vertheidiger L'Huilier[2], Prevost[3] und J. A. de Lüc[4]. Im Allgemeinen nimmt Le Sage an, dafs das ganze Universum mit Atomen erfüllt sey, welche sich nach allen Richtungen bewegen, und indem die Körper vermöge ihrer Porosität bei weitem die meisten durchlassen, trifft sie der Stofs nur von einigen, welcher aber bei der grofsen Geschwindigkeit der Bewegung völlig hinreichen soll, die Erscheinungen der Schwere zu erklären. Neben dieser Voraussetzung fordert sein System aber noch die Annahme von Zeittheilchen, welche eine unveränderliche Gröfse haben, und insofern eigentliche Zeitatome sind, als sie nicht weiter getrennt werden können. Der Stofs der schwermachenden Materie erfolgt dann blofs im Anfange des Zeitatoms, ist unwirksam während des Verlaufes desselben und wird beim folgenden wieder erneuert. Vermittelst solcher willkürlicher Hypothesen bringt Le Sage allerdings eine Erklärung der Schwere heraus, aus welcher namentlich das Gesetz des freien Falls der Körper, nämlich $s = t^2 g$, genau genug folgt, allein das Ungenügende und in sich Widersprechende seiner Voraussetzungen liegt zu klar am Tage, als dafs es belohnend wäre, dieses näher darzuthun. Auf gleiche Weise willkürlich ist die Annahme einer verschiedenen theils geradlinigen, theils krummlinigen, theils spiralförmigen Bewegung der Atome, wodurch verschiedene Naturerscheinungen erklärt werden, so wie einer verschiedenen Gestalt der Atome selbst, woraus die chemische Anziehung und die Krystallisation folgen sollen. Das ganze System ist überhaupt blofs das weiter ausgeschmückte und etwas modificirte Cartesische, eben daher aber weit entfernt, die eigentliche Ursache der Naturerscheinungen deutlich darzustellen,

---

1 Essay de chymie mécanique par M. Le Sage. Rouen 1758. 4. Lucrèce Newtonien par M. Le Sage, in Nouv. Mém. de l'Acad. de Berlin. 1782. p. 404.

2 Exposition élément. des principes des calculs supérieurs ect. par L'Huilier. à Berlin 1786. 4. p. 187.

3 De l'origine des forces magnétiques. à Genève 1788. T. I. ch. 2. Deux Traités de physique mécanique. Genève 1818. 8.

4 Neue Ideen über d. Meteorologie. Aus d. Fr. Berl. u. Stettin 1787. Th. I. S. 6. Journ. de Phys. XLII. 88. 218.

wie DE LÜC meint, wovon man sich durch die gründliche Prüfung desselben durch KAESTNER[1] leicht überzeugen kann. Unrecht war es aber von den spätern Naturphilosophen, wegen eines solchen Mifsbrauches der Atomenlehre das Zurückkommen auf untheilbare Elemente bei fortgesetzter Theilung der Körper und eine bleibend materielle Grundlage derselben als in sich widersprechend und vernunftwidrig darzustellen.

Die Vorstellungsart des Dr. PEART, wonach dieser die Ursache der Anziehung zu erklären sucht, die sich aber hauptsächlich auf das Wesen der Materie[2] bezieht, hat zu geringen innern Werth, als dafs sie eine nähere Erläuterung verdienen sollte.

Verschiedene deutsche Physiker glaubten in den neuern eiten die Erscheinungen der Schwere auf die durch KANT hervorgehobene Ziehkraft zurückführen und hiernach ihrem Wesen nach erklären zu können, indem sie dieselbe eine *Grundkraft* nannten. Man sieht jedoch bei vorurtheilsfreier Prüfung bald, dafs diese Kraft nichts anders ist, als die von NEWTON angenommene Attraction, mit der Erweiterung, dafs sie als Grundkraft nicht blofs von der Materie unzertrennlich, sondern sogar das Wesen der letztern bedingend seyn sollte, wie schon früher durch BOSCOVICH als ähnliche Hypothese aufgestellt worden war[3]. Ebenso wenig genügend zeigt sich SCHELLING's[4] Theorie, welcher eine eigene *Schwerkraft* annimmt, weil Anziehung und Abstofsung als entgegengesetzt einander aufheben und daher zur Erzeugung der Bewegung des Fallens unzureichend seyn müfsten; ein allerdings gegründeter Einwurf.

Eine gleiche Aufmerksamkeit, als die zuletzt genannten Systeme in Deutschland, erregte ein ähnliches in England[5]. Aus einer unter den Geistlichen und vielen andern entstande-

---

1 Prüfung eines von H. LE SAGE angegebenen Gesetzes fallender Körper. Deutsch. Museum 1776. Juni. Untersuchungen über d. Atmosph. von J. A. DE LÜC. D. Ueb. II. 660.

2 S. Art. *Materie.*

3 Im Art. *Materie* wird die Hypothese von den zwei Grundkräften ausführlich geprüft.

4 Erster Entwurf eines Systems der Naturphilosophie. Jena 1799. 8.

5 Hutton Dictionary. T. I. p. 593.

Digitized by Google

nen Furcht, die Naturlehre möge alles aus Kräften erklären, den Einfluſs der Gottheit ganz ausschlieſsen und dadurch den Atheismus begründen, wurde Vince, Professor der Astronomie zu Cambridge, aufgefordert, die verschiedenen Systeme über Schwere und Gravitation kritisch zu prüfen. Seine Untersuchung wurde mit Beifall aufgenommen und man äuſserte den Wunsch, daſs er sie der königl. Societät überreichen möge. Dieses geschah durch seinen Freund Maskelyne, allein die Sache fand dort weniger Anerkennung, als er erwartet hatte, und er lieſs daher die kleine Schrift 1806 zu Cambridge drucken. Hierin prüft er zuerst die Hypothesen des Cartesius, Newton, Le Sage und Bernoulli, nebst einigen minder bedeutenden, mit Uebergehung der von Boscovich aufgestellten, so sehr diese letztere auch in England beachtet und namentlich durch Robison hervorgehoben worden ist. Dann macht er hauptsächlich die durch Newton aufgestellte Hypothese, wonach die Schwere sowohl auf der Erde, als auch die Gravitation der Himmelskörper gegen die Sonne durch einen feinen Aether bewirkt werden soll, zum Gegenstande einer mathematischen Untersuchung, wobei er folgende zwei Hauptsätze zum Grunde legt:

1) Die Gravitation eines Planeten gegen die Sonne steht im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Entfernung.

2) Eine Kraft, welche in diesem genannten Verhältnisse wirkt, kann nicht aus verschiedenen Kräften zusammengesetzt seyn, die nicht das nämliche Verhältniſs befolgen. Hiernach glaubt er, die Dichtigkeit des Mediums, welches die Anziehung bewirkt, sey meſsbar nach der Zahl der Theilchen, die auf einer gegebenen quadratischen Fläche vertheilt wären, daſs also die Veränderung der Dichtigkeit desselben bei einer Entfernung $= d$ von der Sonne $= d^m$ seyn müsse, mithin die Entfernung der Theilchen von einander $= \frac{1}{d^{\frac{1}{2}m}}$. Indem er dann ferner annimmt, daſs die Elasticität der Theilchen selbst variire als die nte Potenz ihrer Entfernung oder $= \frac{1}{d^{\frac{1}{2}m \cdot n}}$ sey, so erhält er zuletzt $\frac{2m - mn}{3e} \times a \frac{2m - mn}{n} - 1$ als Ausdruck der beschleunigenden Kraft der Planeten gegen die Sonne in der Entfernung $= a$. Dieser Ausdruck, bemerkt

Digitized by Google

Vince, giebt die Gravitation als eine Function von e, der Dichtigkeit des Planeten, und ist also unzulässig, weil die Gravitation von der Gröfse und Dichtigkeit unabhängig ist, und man kann daher keinen Aether als Ursache derselben annehmen.

Playfair[1] hat indefs später versucht, die Hypothese von einem Aether zu vertheidigen, indem er sagt, eine Variation der Dichtigkeit desselben, durch $ax^m + bx^n$ ausgedrückt, könne allerdings nicht statt finden, weil sonst die hieraus entstehende Kraft zwei Ausdrücke einschlösse. Würde aber eine von diesen Gröfsen constant, z. B. $m = 0$, so erhielte man den Ausdruck $a + bx^n$ und die Kraft liefse sich durch das Differential von bx^n ausdrücken, d. h. durch eine Gröfse proportional $x^{n-1}dx$. Wäre also die Entfernung vom Mittelpuncte der Sonne $= x$, die Dichtigkeit des Aethers in dieser Entfernung $= b$, seine Elasticität $= e$, nähme dann b im directen Verhältnisse von x zu oder wäre $= ax$ und $e = c - \frac{1}{b} = c - \frac{1}{ax}$, worin c eine beständige Gröfse ist, die bestimmt würde, wenn man wüfste, in welcher Entfernung vom Mittelpuncte der Sonne die Elasticität des Aethers $= 0$ ist, so könnte man allerdings einen Ausdruck erhalten. Es sey z. B. diese Entfernung $= s$, also $x = s$, $c = \frac{1}{as}$, so dafs $e = \frac{1}{as} - \frac{1}{ax}$ wird, so giebt das Differential $de = \frac{dx}{ax^2}$, und es ist de das Differential der Elasticität, welches dem Differential der Entfernung dx zugehört, mithin die Kraft, womit ein verschwindendes Kügelchen oder ein einzelnes Theilchen der Materie, undurchdringlich für den Aether, gegen die Sonne getrieben wird, und diese verändert sich im Verhältnifs von $1 : ax^2$ oder ist dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional. Es ist daher mindestens *möglich*, dafs ein elastisches Fluidum das Bestreben der Körper, sich einander zu nähern, bewirkt, welches sich im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates ihres Abstandes ändert, und hierzu genügt ein Aether, dessen Dichtigkeit seiner Entfernung von der Sonne umgekehrt proportional ist.

---

1 Edinburgh Review. XIII. 101.

Digitized by G

Schwerlich wird diese Demonstration die Ueberzeugung von der Anwesenheit eines Aethers als Ursache der Schwere und Gravitation hervorzubringen vermögen. Sie beweist indefs, wie sehr die Britten bemüht sind, Newton's nur beiläufig geäufserte Hypothese von der möglichen Existenz und Wirkungsart desselben zu rechtfertigen. Am gerathensten bleibt es jedoch immer, die Wirkungen der Schwere durch die Hülfsmittel des Calcüls unter allgemeine Gesetze zu bringen, sie selbst aber vorläufig als eine nicht näher zu bezeichnende Kraft zu betrachten und denjenigen Aufwand von Zeit und Mühe, welchen die vorerst wahrscheinlich fruchtlosen Speculationen über ihr eigentliches Wesen erfordern könnten, der Erforschung anderer noch dunkler Naturgesetze zu widmen.

Es möge hier noch mit wenigen Worten der *negativen* Schwere gedacht werden, deren Existenz eine kurze Zeit die Aufmerksamkeit einiger Physiker in Anspruch nahm. Sie müfste das Entgegengesetzte der bekannten Schwere seyn und dieser letztern ebenso entgegenstehn, als die Zurückstofsung der Anziehung, folglich sich als ein Bestreben der durch sie afficirten Körper zeigen, den Mittelpunct der Erde zu fliehen. Bis jetzt ist noch nicht erwiesen, dafs die sogenannten unwägbaren Potenzen, Wärme, Licht, Elektricität und Magnetismus, gegen die Erde gravitiren oder schwer sind, und man mufs ihnen daher, falls sie für materiell gehalten werden und ihre Unwägbarkeit aus den bisherigen Versuchen genügend folgt, die Schwere absprechen oder sie für absolut leicht halten, aber für negativ schwer, also der Schwere entgegenstrebend, können sie nicht gehalten werden, wenn man nicht zugleich annehmen will, dafs diese ihre Eigenschaft auf die Körper, womit sie verbunden sind, einen Einfluſs äufsere, indem sonst z. B. erhitzte Körper leichter seyn, also heifse Pendel langsamer schwingen müfsten, als kalte. Im Allgemeinen kann also von einer durch Thatsachen angedeuteten negativen Schwere überhaupt keine Rede seyn.

Zur Annahme einer negativen Schwere wurde R. A. C. Grer veranlafst, um die damals herrschende Vorstellung von der Existenz des *Phlogistons* zu retten. Als nämlich Lavoisier gezeigt hatte, dafs verbrannte (verkalkte, oxydirte) Metalle, von denen also das vermeintliche Phlogiston entfernt war, schwerer seyen, als sie im regulinischen Zustande sich

gezeigt hatten, und dafs also kein Phlogiston existiren könne, so legte Gren diesem eine negative Schwere bei. Gründlich wurde diese Hypothese widerlegt durch J. T. Mayer[1], dessen Beweis hauptsächlich auf folgenden Sätzen beruht. Wenn die Masse = M eines Körpers aus zwei Theilen = Q und N zusammengesetzt ist, wovon ersterer durch die Kraft = g niederwärts, letzterer durch die Kraft = γ aufwärts gezogen wird, so ist der Druck, womit beide in entgegengesetzter Richtung getrieben werden, = gQ und γN. Sind beide gleich, so wird M ruhn, ist aber gQ gröfser, so drückt M niederwärts mit einer Kraft = $gQ - \gamma N$. Wenn man dieses auf die ganze Masse vertheilt, also durch M dividirt, so ist die Beschleunigung = $\frac{gQ - \gamma N}{M} = G$, und der Körper mufs also langsamer fallen. Gren suchte seine Hypothese dadurch zu retten, dafs er zeigte, derjenige Theil der Masse, welcher durch die Verbindung mit dem negativ schweren Phlogiston sein ganzes Gewicht verliere, müsse zwar das Totalgewicht um eine gewisse Gröfse vermindern, könne aber bei einem Gewichte = 0 das Fallgesetz der übrigen Masse nicht abändern; übersah hierbei aber, dafs dieses fehlenden Gewichts des nicht schweren Theils ungeachtet die Masse desselben doch blieb, folglich auch durch die bewegende Kraft des Restes mit bewegt werden mufste, und dafs hierzu ein Kraftaufwand erfordert werde, welcher die Wirkung der Gesammtkraft verminderte. Zuletzt erkannte er seinen Irrthum und gab die Hypothese auf[2]. Aus speculativen Gründen behauptet auch Fries[3], dafs es allerdings eine negative Schwere geben könne, allein man sieht bald, dafs hierbei blofs von der logischen Möglichkeit die Rede sey, indem die Erfahrung und die anderweitigen wohlerkannten Naturgesetze dieser Annahme widerstreiten.

M.

---

1 Gren Journ. Th. I. S. 205. 359.

2 Ebend. Th. II. S. 198. Vergl. C. F. Hindenburg Programma, quo ostenditur, calorem et phlogiston non esse materias absolute leves.

3 Mathematische Naturphilosophie. S. 555.

Digitized by Google

Physikalisches Wörterbuch.

VIII. Band.

Zweite Abtheilung.

Schwerpunct bis Ende S.

Dieser Titel kann vor S. 639 gebunden werden.

Digitized by Google

Digitized by Google

Schwerpunct.

Mittelpunct der Schwere; *Centrum gravitatis;* Centre de gravité; *Centre of gravity.*

1) Der Schwerpunct ist derjenige Punct im Innern eines Körpers, wo man seine ganze Schwere (sein ganzes Gewicht) oder die Schwere aller seiner einzelnen Massentheile vereint denken kann. Diese strenge Bedeutung des Wortes Schwerpunct und noch mehr des seltenern Ausdrucks *Mittelpunct der Schwere* ist auch in der wissenschaftlichen Feststellung des Begriffs beibehalten worden. Sowohl für die Statik als insbesondere auch für die Mechanik ist die Auffindung des Schwerpunctes unerläfslich, denn in beiden kann nicht die Gravitation der einzelnen Partikeln, deren Gröfse ohnehin stets unbestimmt bleiben wird, berücksichtigt werden, sondern blofs die Resultirende ihrer Gesammtwirkung, und namentlich läfst sich bei der Untersuchung der Bahn, welche ein bewegter Körper durchläuft, diese unmöglich als ein hohler Raum betrachten, wovon der bewegte Körper in jedem Zeitelemente einen gewissen Theil einnahm, sondern man mufs sie nothwendig als eine Linie betrachten, welche derjenige Punct des Körpers beschrieb, in welchem die ganze, blofs rücksichtlich ihrer Schwere vorgestellte Masse vereint gedacht werden kann. Die hiernach für die Mathematik nothwendig erwachsende Aufgabe, den Schwerpunct in Körpern von jedweder Gestalt aufzufinden, wird bedeutend schwieriger, wenn die Masse des Körpers nicht überall von gleichmäfsiger Dichtigkeit ist, weswegen dieser Fall hier vorerst unberücksichtigt bleibt. Dabei folgt aus der Natur der Sache, dafs blofs von festen Körpern die Rede seyn kann, die ihre Form nicht ändern. Bei Flüssigkeiten im Allgemeinen kann daher von einem Schwerpuncte überhaupt nicht geredet werden, und wenn dieses dennoch der Fall ist, so geschieht es unter der Voraussetzung, dafs eine gegebene Masse dieser Flüssigkeit während der Zeitdauer, für welche die Untersuchung gilt, ihre Gestalt nicht ändere.

2) Einen anschaulichen Begriff von der Lage des Schwerpunctes erhält man bald, wenn man berücksichtigt, dafs alle einzelne Theile nach dem Centrum der Erde gravitiren, und

Digitized by Google

obgleich bei der Bestimmung des Schwerpunctes die Richtungslinien dieser Gravitation weder nothwendig, noch auch stets in Betrachtung kommen, wie namentlich bei geworfenen Körpern, so läfst sich doch die Aufgabe selbst am leichtesten auf diese Weise auflösen. Denkt man sich also einen Körper im Puncte a an einem Faden befestigt und an diesem a g so aufgehangen, dafs er ruht, so mufs die Resultirende aller ihn vermöge der Schwere herabziehenden Kräfte in der Richtung a e liegen, weil sie durch die ihr entgegenwirkende a g aufgehoben wird. Denkt man sich diese Linie im Innern des Körpers bezeichnet als a′e′ und hängt man den Körper in einem andern beliebigen Puncte b auf, so gilt das nämliche von der Linie b d, welche an die Stelle der a e tritt, der Punct c aber, in welchem beide sich schneiden, mufs der Schwerpunct seyn, weil alle die Richtung seiner Schwere bezeichnende Linien sich in ihm vereinigen. In diesem Verfahren ist zugleich ein Mittel gegeben, den Schwerpunct empirisch zu finden, doch ist es meistens schwierig und oft unmöglich, diesen Punct mit gehöriger Schärfe zu erhalten. Ein anderes leichteres Verfahren besteht darin, dafs man den Körper auf einer Flüssigkeit schwimmen läfst, in welchem Falle die durch seinen Schwerpunct gehende Linie auf der horizontalen Ebene, in welcher die Oberfläche der Flüssigkeit ihn berührt, senkrecht ist. Benzenberg[1] bediente sich dieses Mittels, um bei seinen fallenden Kugeln den Schwerpunct am tiefsten unter den Aufhängepunct zu bringen, auch wendet man dasselbe bei den Geschützkugeln an, die wegen nicht gleichzeitigen Erkaltens nicht durchaus gleichmäfsig dicht sind, indem man sie auf Quecksilber schwimmen läfst, dabei den höchsten hervorstehenden Punct bezeichnet und auf diese Weise denjenigen Durchmesser erhält, welcher in die geometrische Axe des Geschützes so gebracht werden mufs, dafs der Schwerpunct in der Bahn vorangeht, wenn man eine Drehung der freischwebenden Kugel vermeiden will.

Fig. 287.

Dafs man bei der Bestimmung des Schwerpunctes von diesen Grundsätzen ausgehn müsse, erkannten bereits die ältern Geometer, bedienten sich aber sehr schwerfälliger und

---

1 Versuche über die Umdrehung der Erde. Dortmund 1804. 8. S. 314.

Digitized by Google

mühvoller Methoden, z. B. Valerii[1], Wallis[2], Casatus[3], Roberval[4], Varignon[5] und andere; Clairaut[6] dagegen zeigte zuerst, wie man sich der Integralrechnung mit Vortheil zu diesem Zwecke bedienen könne. Seit dieser Zeit macht die Bestimmung der Lage des Schwerpunctes einen eignen Abschnitt in allen vollständigern Werken über die Mechanik aus, unter denen ich hier blofs die von Poisson[7] und Brix[8] nennen will, letzteres weil die Bestimmungen auch ohne Anwendung des höhern Calcüls gemacht werden und sich am besten für die praktische Anwendung eignen.

3) Die Aufgabe, den Schwerpunct irgend eines Körpers zu finden, kommt in ihrer Allgemeinheit darauf hinaus, denselben in eine beliebige Anzahl Theile getheilt vorzustellen, deren Schwerpuncte bekannt sind, und dann diese insgesammt in einen einzigen zu vereinigen. Man denke sich daher das Gewicht eines jeden Theiles als eine in verticaler Richtung wirkende Kraft, deren Angriffspunct in seinem Schwerpuncte liegt; alle diese Kräfte sind dann einander parallel und die Aufgabe kommt darauf zurück, die Resultirende einer gewissen Anzahl paralleler Kräfte zu finden, wie bereits im Art. *Bewegung*[9] gezeigt worden ist. Heifsen demnach die Gewichte der einzelnen Theile p, p', p''...., die Coordinaten des Schwerpunctes von $p = x, y, z$, von $p' = x', y', z'$, von $p'' = x'', y'', z''$ u. s. w., nennt man das Gewicht des ganzen Körpers P und seine Coordinaten x_1, y_1, z_1, so erhält man

$$Px_1 = px + p'x' + p''x'' \ldots,$$
$$Py_1 = py + p'y' + p''y'' \ldots.$$
$$Pz_1 = pz + p'z' + p''z'' \ldots..$$

---

1 Lucae Valerii de centro gravitatis solidorum liber. Bonon. 1661. 4.

2 Mechanica. P. II. in Opp. T. I. Phil. Trans. VII.

3 Mechanica. Lugd. 1684. 4.

4 Mém. de l'Acad. de Par. T. VI. p. 270.

5 Ebend. X. p. 508.

6 Ebend. 1731. p. 159.

7 Traité de Mécanique. Par. 1811. Chap. IV. T. I. p. 119.

8 Elementar-Lehrbuch der dynamischen Wissenschaften. Berl. 1831. Th. I. S. 210. Vergl. die ausführlichen Untersuchungen in Prony neue Architectura hydraulica; übers. von Langsdorf. Th. I. S. 89 ff.

9 S. Bd. I. S. 939.

Befinden sich alle einzelne Schwerpuncte in einer einzigen Ebene, so mufs auch der gemeinschaftliche Schwerpunct in derselben liegen, und ebendieses findet auch bei der geraden Linie statt. Die Ungleichheit der Schwere an den verschiedenen Orten der Erde hat hierauf keinen Einfluſs, und wenn der Körper überall von gleicher Dichtigkeit ist, so kann man statt der einzelnen Gewichte p, p′, p″ ... auch die Volumina $= v, v', v'' \ldots$ und somit statt P auch V ohne weitere Veränderung des Ausdrucks setzen.

4) Linien und Flächen haben eigentlich kein Gewicht, aber man kann dennoch jeden einzelnen Punct derselben als durch irgend eine Kraft getrieben betrachten und diesemnach ihren Schwerpunct bestimmen. Handelt es sich also um den *Schwerpunct irgend einer Linie*, alle ihre einzelne Theile als von gleichen parallelen Kräften getrieben vorausgesetzt, so ist die Länge irgend eines Elements derselben, welches den Coordinaten x, y, z zugehört, $= \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}$, das Product dieses Elements in seinen Abstand von der Ebene der Coordinaten x und y ist $= z.\sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}$, und man erhält dann die Summe aller den einzelnen Elementen zugehörigen gleichen Producte durch die Integration. Heifst dann l die Länge der berechneten Linie und nennt man x_1, y_1, z_1 die Abstände ihres Schwerpunctes von den Ebenen der Coordinaten y, z; x, z und x, y, so ist

$$lx_1 = \int x \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}$$

$$ly_1 = \int y \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}$$

$$lz_1 = \int z \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}.$$

Ist auch l unbekannt, so wird diese Gröfse bestimmt durch

$$l = \int \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}.$$

Man bedarf also zur Auffindung des Schwerpunctes einer Linie vier bestimmter Integrale, deren gemeinschaftliche Grenzen den Endpuncten der Linie correspondiren. Die Integration erfordert dann, ein jedes dieser Integrale auf die Form $\int T\,dt$ zurückzuführen, worin T eine Function einer einzigen veränderlichen Gröfse t bezeichnet. Hierzu gelangt man, wenn

Digitized by Google

man an die Stelle von zwei der Coordinaten x, y, z und ihrer Differentiale ihre Werthe, als eine Function der dritten ausgedrückt, die man aus der bekannten Gleichung der gegebenen Linie entnimmt, substituirt und dann entweder die Werthe der vollständigen Integrale sucht, oder solche, die nur durch Näherung gefunden werden.

5) Am besten läfst sich die Sache durch eine Anwendung auf die gerade Linie erläutern. Es seyen die Gleichungen derselben

$$y = \alpha x + \alpha' ; \; z = \beta x + \beta',$$

so wird

$dy = x dx$, $dz = \beta dx$, $\sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2} = \sqrt{1+\alpha^2+\beta^2}.dx$,

diesemnach ist

$$\int \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2} = \sqrt{1+\alpha^2+\beta^2}.x + C$$

$$\int x.\sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2} = \sqrt{1+\alpha^2+\beta^2}.\frac{x^2}{2} + C'$$

$$\int y.\sqrt{dx^2+dy^2+dz^2} = \sqrt{1+\alpha^2+\beta^2}.\left(\frac{\alpha x^2}{2}+\alpha' x\right) + C''$$

$$\int z.\sqrt{dx^2+dy^2+dz^2} = \sqrt{1+\alpha^2+\beta^2}.\left(\frac{\beta x^2}{2}+\beta' x\right) + C'''.$$

Bezeichnet man durch a und b die von beiden Endpuncten der Linie an genommenen Längen derselben, so dafs $x = a - b$ wird, so erhält man

$$\int \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2} = \sqrt{1+\alpha^2+\beta^2}.(a-b)$$

$$\int x.\sqrt{dx^2+dy^2+dz^2} = \sqrt{1+\alpha^2+\beta^2}.\left(\frac{a^2-b^2}{2}\right)$$

$$\int y.\sqrt{dx^2+dy^2+dz^2} = \sqrt{1+\alpha^2+\beta^2}.\left[\left(\frac{a^2-b^2}{2}\right).\alpha+(a-b).\alpha'\right]$$

$$\int z.\sqrt{dx^2+dy^2+dz^2} = \sqrt{1+\alpha^2+\beta^2}.\left[\left(\frac{a^2-b^2}{2}\right).\beta+(a-b).\beta'\right],$$

Substituirt man diese Werthe in die oberen Gleichungen für x_1, y_1 und z_1, so erhält man nach den gehörigen Reductionen

$$x_1 = \frac{a+b}{2}; \; y_1 = (a+b)\,\frac{\alpha}{2} + \alpha'; \; z_1 = (a+b)\,\frac{\beta}{2} + \beta',$$

diejenigen Ordinaten, welche der Mitte der Linie zugehören,

Digitized by Google

worin sich augenfällig der Schwerpunct derselben befinden mufs.

6) Die Aufgabe wird bedeutend leichter, wenn die Linie in einer geraden Ebene liegt, deren Ordinaten x und y sind. Es wird dann $z=0$, also auch $dz=0$ und $z_1=0$, und man hat

$$lx_1=\int x.\sqrt{dx^2+dy^2},\ ly_1=\int y.\sqrt{dx^2+dy^2},\ l=\int\sqrt{dx^2+dy^2},$$

wodurch die Aufgabe auf drei vollständige Integrale zurückkommt. Ist die Curve durch eine gerade Linie in zwei Theile so getheilt, dafs in dieser zugleich der Schwerpunct liegt, und nimmt man diese als Axe der Ordinaten x, so wird auch $y=0$ und man hat blofs

$$lx_1=\int x.\sqrt{dx^2+dy^2},\ l=\int\sqrt{dx^2+dy^2}.$$

Fig. 288. Es diene als Beispiel das Stück des Kreisbogens BAD, welches durch den Halbmesser CA in zwei gleiche Theile getheilt sey. Der Anfang der Ordinaten liege in C, indem CX die Axe der Abscissen und CY die der Ordinaten bezeichnet. Man hat dann $CA=r$, $Cp=x$, $mp=y$, $Am=s$, einen Theil des Bogens, dessen Punct m durch die beiden Coordinaten bezeichnet wird. Man hat demnach

$$\sqrt{dx^2+dy^2}=ds \text{ und } x=r\ \text{Cos.}\ \frac{s}{r},$$

woraus man erhält

$$\int x.\sqrt{dx^2+dy^2}=r^2.\ \text{Sin.}\ \frac{s}{r}+C.$$

Die Grenzen des Integrals sind bestimmt durch die Endpuncte der Curve B und D, und man hat also $s=\frac{1}{2}l$ und $s=-\frac{1}{2}l$, wenn l den ganzen Bogen BAD bezeichnet. Hiernach ist also das vollständige Integral

$$lx_1=\int x.\sqrt{dx^2+dy^2}=2r^2\ \text{Sin.}\ \frac{l}{2r},$$

und wenn man die Chorde BD durch c bezeichnet, so erhält man

$$c=2r\ \text{Sin.}\ \frac{l}{2r},\ \text{also}\ lx_1=rc,$$

welches zeigt, dafs der Abstand x_1 des Schwerpunctes eines Kreisbogens vom Mittelpuncte des Kreises die vierte Propor-

tionale zum Radius, der Chorde und dem Kreisbogen ist, also wenn x_1 den Abstand des Schwerpunctes vom Centrum, r den Halbmesser, c die Chorde und l die Länge des Bogens bezeichnet, so ist $x_1 : r = c : l$.

7) Wäre der Schwerpunct einer Cykloide zu suchen, so sey BCA diese Curve, CD der sie erzeugende Kreis, C der Anfangspunct der Coordinaten, deren Axen X und Y aus der Zeichnung ersichtlich sind, m ein Punct in der Curve, für welchen also $Cp = x$ und $pm = y$ ist, und der Durchmesser des Kreises CD sey $= a$. Die bekannte Gleichung der Cykloide ist Fig. 289.

$$dx = \frac{(a-y)\,dy}{\sqrt{ay-y^2}}.$$

Nach den angegebenen Formeln ist also

$$\sqrt{dx^2+dy^2} = \sqrt{\frac{a}{y}}.\,dy \text{ und } l = \int\sqrt{dx^2+dy^2} = 2\sqrt{ay},$$

wenn l den Bogen Cm bezeichnet, in dessen Anfange C die Ordinate $y = 0$ ist. Diesemnach wird

$$ly_1 = \int y.\sqrt{dx^2+dy^2} = \int\sqrt{ay}.dy = \tfrac{2}{3}\sqrt{(ay^{\frac{1}{2}})}.$$

Nimmt man das Integral vom Anfangspuncte C und dividirt durch l, so erhält man $y_1 = \frac{1}{3}y$, welches den Abstand des Schwerpunctes des Bogens Cm von der Abscissenaxe CX giebt. Um den andern Abstand x_1 zu finden, hat man

$$\int x.\sqrt{dx^2+dy^2} = \int .x.\sqrt{\frac{a}{y}}.dy$$

und dann theilweise integrirt

$$\int x.\sqrt{dx^2+dy^2} = 2x.\sqrt{ay} - 2\int\sqrt{ay}.dx$$

worin für dx dessen Werth substituirt giebt

$$\int\sqrt{ay}.dx = \int\sqrt{a}.(a-y.^{\frac{1}{2}}\,dy = -\tfrac{2}{3}\sqrt{a}.(a-y)^{\frac{3}{2}}$$

und diesemnach

$$\int x.\sqrt{dx^2+dy^2} = 2x.\sqrt{ay} + \tfrac{4}{3}\sqrt{a}.(a-y)^{\frac{3}{2}} + C.$$

Um das vollständige Integral zu erhalten, darf man nur berücksichtigen, dafs im Puncte C die Abscisse $= 0$ wird und also das ganze Integral $= 0$ werden mufs. Setzt man also $y = 0$ (für den Punct C), so ist

Digitized by Google

$$\tfrac{4}{3}a^2 = 0, \text{ also } C = -\tfrac{4}{3}a^2,$$

und diesemnach

$$1x_1 = \int x.\sqrt{dx^2+dy^2} = 2x.\sqrt{ay} + \tfrac{4}{3}\sqrt{a}(a-y)^{\frac{3}{2}} - \tfrac{4}{3}a^2$$

und wenn man auf beiden Seiten mit l und seinem Werthe dividirt

$$x_1 = x + \tfrac{2}{3}\frac{(a-y)^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{y}} - \tfrac{2}{3}\frac{a^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{y}},$$

Diese beiden Werthe, nämlich x_1 und y_1, geben den Schwerpunct des cykloidischen Bogens Cm. Nimmt man statt dessen die halbe Cykloide oder den cykloidischen Bogen CA, so ist die Ordinate dem Durchmesser des erzeugenden Kreises gleich, also $y = CD = a$ und $x = Da$. Hiernach wird also

$$x_1 = DA - \tfrac{2}{3}a = DA - \tfrac{2}{3}CD; \; y_1 = \tfrac{1}{3}a = \tfrac{1}{3}CD.$$

Man darf also nur vom Puncte A ausgehen, auf der Basis den Punct E suchen, welcher $\frac{2}{3}$ CD von A absteht, auf dieser die lothrechte Linie EG fällen und $EG = AE$ nehmen, so ist der Punct G der Schwerpunct der halben Cykloide CA.

8) Soll auf gleiche Weise, als beim Kreise gezeigt worden ist, der Schwerpunct des cykloidischen Bogens m′Cm gesucht werden, welchen der Durchmesser CD des erzeugenden Kreises in zwei gleiche Hälften theilt, so fällt dieser Schwerpunct in den Durchmesser oder in die Ordinatenaxe CY und seine Entfernung von der Abscissenaxe CX ist offenbar derjenigen gleich, die so eben für den Bogen Cm gefunden wurde. Man hat also nur den Werth von $y_1 = \frac{1}{3}a$ zu bestimmen, d. h. der Schwerpunct eines cykloidischen Bogens, welcher vom Durchmesser des erzeugenden Kreises in zwei gleiche Hälften getheilt wird, liegt in diesem Durchmesser, und zwar in der Entfernung von $\frac{1}{3}$ seiner Länge, vom Kopfe des Bogens an gerechnet.

9) Wird gefordert den *Schwerpunct irgend einer Fläche* zu finden, die in einer Ebene liegt und durch zwei krumme Linien begrenzt ist, so seyen diese einschliefsenden Linien CD und C′D′. Man ziehe aus einem aufserhalb der Fläche liegenden Anfangspuncte O die rechtwinkligen Coordinaten-Axen OX und OY, nehme die Abscisse $Op = x$ und fälle hierauf die Ordinaten $pm = y$ und $pm' = y'$, die aus der Beschaffenheit der Curve als Functionen von x ausgedrückt werden können. Es sey dann CC′D′D die gegebene Fläche, deren

Fig. 290.

zwei Seiten durch die Ordinaten AC und BD begrenzt sind; ferner möge $OA = a$, $OB = b$ und die ganze Fläche $= \lambda$ genannt werden; die dem Schwerpuncte zugehörigen Coordinaten aber heifsen x_1 und y_1. Um diese zu finden, nehme man das Differential der Fläche, welches durch die parallelen Ordinaten m p und n q eingeschlossen ist und als ein Parallelogramm von der Basis m m′ und der Höhe p q betrachtet werden kann. Der Inhalt dieses verschwindenden Parallelogramms ist $= (y - y')\,dx$ und man hat also

$$\lambda = \int (y - y')\,dx,$$

wenn man die Grenzen dieses Integrals von $x = a$ bis $x = b$ nimmt. Der Schwerpunct dieses Elementes der Fläche fällt offenbar in seine Mitte und seine Ordinate ist $= \frac{1}{2}(y + y')$, seine Abscisse aber $= x + \frac{1}{2}dx$, und da man $\frac{1}{2}dx$ im Verhältnifs zu x vernachlässigen kann, einfach $= x$. Wird der Ausdruck der Ordinate mit $(y - y')\,dx$ multiplicirt, so erhält man $\frac{1}{2}(y^2 - y'^2)\,dx$, wovon das Integral für die Werthe von $x = a$ bis $x = b$ genommen die Summe aller Elemente der ganzen zwischen diesen Grenzen eingeschlossenen Fläche giebt. Hiernach erhält man nach den oben für die Linien gefundenen Formeln, wenn man die Fläche statt der Länge der Linien setzt,

$$\lambda y_1 = \tfrac{1}{2}\int (y^2 - y'^2)\,dx.$$

Wird die Abscisse gleichfalls mit $(y - y')\,dx$ multiplicirt, so erhält man auf gleiche Weise

$$\lambda x_1 = \int (y - y')\,x\,.\,dx.$$

Die Aufgabe erfordert also drei vollständige Integrale; wenn aber eine der beiden Ordinaten-Axen die Fläche in zwei gleiche Hälften theilt und man also blofs den Werth von x_1 oder von y_1 zu bestimmen hat, so bedarf es deren nur zwei. Ist die Fläche durch die Abscissen-Axe OX begrenzt, z. B. wenn die Fläche CABD gegeben wäre, so wird $y' = 0$ und die angegebenen Formeln kommen auf folgende zurück:

$$\lambda = \int y\,dx;\quad \lambda y_1 = \tfrac{1}{2}\int y^2\,dx;\quad \lambda x_1 = \int y\,x\,dx.$$

10) Als Beispiel diene die Fläche des Dreiecks. Es sey das gegebene Dreieck CAB, der Anfang der Coordinaten-Axen CX und CY sey in C und die letztere mit der Basis Fig. 291.

Digitized by Google

des Dreiecks parallel. Die Gleichungen für die die Fläche begrenzenden geraden Linien CA und CB seyen $y = \alpha x$ und $y' = \alpha' x$, dann wird aus den angegebenen allgemeinen Formeln, wenn man darin die eben bestimmten Ausdrücke für y und y' substituirt:

$$\lambda = \int (\alpha - \alpha').\ x\,dx,$$

$$\lambda y_1 = \tfrac{1}{2}\int (\alpha^2 - \alpha'^2)\ x^2\,dx,$$

$$\lambda x_1 = \int (\alpha - \alpha')\ x^2\,dx.$$

Diese Integrale müssen genommen werden von $x = 0$, welches in den Anfangspunct oder die Spitze C des Dreiecks fällt, bis $x = h$, wenn h dessen Höhe, die durch CD gegeben ist, bezeichnet. Dann werden die Integrale

$$\lambda = (\alpha - \alpha')\frac{h^2}{2};\quad \lambda y_1 = (\alpha^2 - \alpha'^2)\frac{h^3}{6};\quad \lambda x_1 = (\alpha - \alpha')\frac{h^3}{3}$$

und auf beiden Seiten durch λ dividirt

$$y_1 = (\alpha + \alpha')\frac{h}{3};\quad x_1 = \frac{2h}{3},$$

also erhält man $x_1 = CE = \frac{2}{3} CD = \frac{2}{3} h$. Um y_1 zu erhalten, müssen die Werthe von α und α', die früher bei der Bestimmung von y und y' angenommen wurden, in die Formel gesetzt werden, und dann erhält man die Länge des in E aufgerichteten Perpendikels, dessen Endpunct G der Schwerpunkt des Dreiecks ist. In dem vorliegenden Falle ist für $x = CD = h$ die Ordinate $AD = \alpha h$ und $BD = \alpha' h$, wonach also $y_1 = \frac{AD + BD}{3}$ wird. Man hat aber $CE : GE = CD : FD$, und da $CE = \frac{2}{3} CD$ ist, so wird

$$FD = \tfrac{3}{2}\ GE = \tfrac{1}{2}\ (AD + BD).$$

Es fällt also F in die Mitte von AB, und hieraus folgt also das allgemeine Gesetz, dafs der Schwerpunct eines Dreiecks gefunden wird, wenn man von seiner Spitze eine gerade Linie auf die Mitte seiner Basis fällt und von dieser $\frac{2}{3}$ von der Spitze an gerechnet nimmt. Der so bezeichnete Punct ist der Schwerpunct der Dreiecksfläche. Es folgt sehr einfach, dafs der Schwerpunct einer Dreiecksfläche im Durchschnittspuncte der Linien liegt, die man aus zwei Spitzen auf die Mitte der gegenüberstehenden Seite fällt; denn da derselbe

nach dem so eben gefundenen Satze in die Linie CD und zugleich in die Linie AE fallen mufs, so ist der Punct K offenbar der einzige, welcher diesen beiden Bedingungen Genüge leistet. Fig. 292.

11) Soll der Schwerpunct eines Kreis-Segmentes gefunden werden, so sey dieses dasjenige, welches durch die Chorde BD abgeschnitten und durch den Radius CA in zwei gleiche Theile getheilt wird. Man nehme diesen Radius zur Abscissenaxe und setze den Anfangspunct in C. Ist dann CA $=r$ und CE $=a$, so ist die Gleichung des Kreises $y^2+x^2=r^2$. Für die beiden Hälften des Segmentes, nämlich für AB ist $y=+\sqrt{r^2-x^2}$ und für AD ist $y'=-\sqrt{r^2-x^2}$, welche Werthe in die Hauptgleichung substituirt geben Fig. 293.

$$\lambda x_1 = 2\int \sqrt{r^2-x^2}\,.\,x\,dx.$$

Nimmt man das Integral für die Werthe $x=a$ bis $x=r$, so erhält man

$$\lambda x_1 = \tfrac{2}{3}\,(r^2-a^2)^{\frac{3}{2}}.$$

Nennt man die Chorde c und berücksichtigt man, dafs diese zugleich die doppelte Ordinate ist, so wird

$$c = 2\sqrt{r^2-a^2} \text{ und } x_1 = 1^1_2\,.\,\frac{c^3}{\lambda}.$$

Diese Gröfse, von C anfangend, giebt die Linie CG und es ist also G der Schwerpunct des Kreissegmentes, dessen Fläche $=\lambda$ ist. Der Schwerpunct des Kreissectors BCD wird auf eine einfache Weise gefunden, wann man denselben in lauter verschwindend kleine Dreiecke zerlegt denkt, bei denen die krummlinige Basis von der geradlinigen nicht merklich abweicht. In einem jeden derselben ist der Abstand des Schwerpunctes von der Spitze gleich $\frac{2}{3}$ des Perpendikels von der Spitze auf die Basis, hier also gleich $\frac{2}{3}$ des Radius. Nimmt man diese Gröfse als neuen Radius und zieht damit den Kreis B'A'D', so verbindet dieser Kreisbogen alle Schwerpuncte der einzelnen Dreiecke, und der gemeinschaftliche Schwerpunct von allen diesen mufs daher der Schwerpunct dieses Kreisbogens seyn. Es ist aber oben gezeigt worden, dafs bei einem Kreisbogen der Abstand des Schwerpunctes vom Centro die vierte Proportionale zum Radius, der Chorde und dem Kreisbogen ist $=$ oder

$$x_1 : r = c : l,$$

wenn x_1 diesen Abstand, r den Halbmesser, c die Chorde und l die Länge des Bogens bezeichnet. Für einen Kreissector ist also der Abstand des Schwerpunctes vom Centrum der vierten Proportionale zu zwei Drittheilen der eben genannten Gröfsen gleich. Demnach ist $x_1 = \frac{2}{3}\frac{rc}{l}$.

12) Mit Anwendung der §. 9. gegebenen Formeln findet man die Schwerpuncte der durch andere Curven begrenzten Flächen, solche aber, die durch gerade Linien eingeschlossen sind, darf man nur in Dreiecke zerlegen, deren Schwerpuncte mit einander verbinden, und man erhält dann zuletzt ein einziges Dreieck, oder eine gerade Linie, deren Schwerpunct zugleich derjenige der ganzen Figur ist.

13) Zur Auffindung des Schwerpunctes der Körper und ihrer Oberflächen führt folgende allgemeine Betrachtung. Wenn die durch die beiden Linien CmD und C′m′D′ eingeschlossene Figur um die Axe OX herumgedreht wird, so erzeugt sie einen Körper, welcher zwischen den durch die Linien CC′ und DD′ und die durch die genannten Linien beschriebenen Flächen eingeschlossen ist. Die Schwerpuncte sowohl der durch jede der beiden letzteren Curven erzeugten Oberflächen, als auch des zwischen ihnen eingeschlossenen Körpers

Fig. 290.

liegen offenbar in der Axe OX, und die Aufgabe kommt also darauf zurück, ihren Ort in dieser Linie anzugeben. Es ist hierbei also blofs x_1 zu bestimmen (welches vorläufig = OG seyn möge), und wenn zu diesem Zwecke die § 9. aufgestellten Principien beibehalten werden, V aber den Inhalt des erzeugten Körpers bezeichnet, so erhält man

$$V = \pi.\int (y^2 - y'^2)\,dx\,; \quad Vx_1 = \pi.\int (y^2 - y'^2)\,x\,dx,$$

wenn π das Verhältnifs des Kreises zum Durchmesser bezeichnet und die Integrale von $x = OA = a$ bis $x = OB = b$ genommen werden. Wird auf gleiche Weise G′ als der Schwerpunct der durch Umdrehung der Curve CmD erzeugten Oberfläche angenommen und diese durch S bezeichnet, so mufs auch dieser in der Axe OX liegen und es ist gleichfalls

$$S = 2\pi.\int y\sqrt{dx^2 + dy^2} \text{ und } Sx_1 = 2\pi.\int yx\sqrt{dx^2 + dy^2},$$

wobei man für die andere, durch C′m′D′ erzeugte Oberfläche nur y′ statt y in diese Formel zu setzen nöthig hat, in bei-

Digitized by Google

den Fällen die Integrale von $x = a$ bis $x = b$ nach der eben angezeigten Bestimmung genommen. Die Richtigkeit dieses Ausdrucks läfst sich leicht zeigen, wenn man den ganzen entstandenen Körper in eine Menge kleiner Cylinder zerlegt, deren Inhalt bestimmt und dann die Summe des Inhalts aller sucht. Es sey ein solcher Cylinder das Element, welches zwischen die Ordinaten m m′ n′ n eingeschlossen und $= \pi . y^2 dx - \pi . y'^2 dx$ ist. Denn wenn man die höheren Potenzen von dx vernachlässigt, so läfst sich der erzeugte Cylinder betrachten als ein solcher, der zur Grundfläche die durch p m — pm′ erzeugte Kreisfläche und zur Höhe pq oder dx hat. Wenn man aber das auf diese Weise erhaltene Volumen mit x oder dem Abstande seines Schwerpunctes von einer auf OX lothrechten, in O liegenden Fläche multiplicirt und die Summe aller ähnlichen Producte für die gesammten verschwindenden Cylinder sucht, so erhält man $Vx_{,}$, welches dem Integrale von $\pi y^2 x dx - \pi y'^2 x dx$ gleich ist.

Auch die durch die Umdrehung der Curve C m D erzeugte Oberfläche läfst sich in eine unendliche Menge verschwindend kleiner Zonen zerlegen. Ist eine solche erzeugt durch den Bogentheil mn, so läfst sich statt dessen bei seiner Kleinheit die Chorde nehmen und die erzeugte Oberfläche bildet die eines abgekürzten Kegels mit parallelen Flächen, die durch Umdrehung der Ordinaten pm, qn oder y und $y + dy$ um die Axe OX erzeugt sind, deren Seite die Chorde $mn = \sqrt{dx^2 + dy^2}$ bildet. Die Oberfläche dieses Kegels ist bekanntlich $= \pi . (mp + mq) . mn$, also $= \pi (2y + dy) \times \sqrt{dx^2 + dy^2}$ und mit Vernachlässigung von dy als gegen y verschwindend $= 2\pi y \sqrt{dx^2 + dy^2}$. Wird dieses integrirt und das Integral von $x = a$ bis $x = b$ genommen, so erhält man die Summe aller Zonen oder die ganze Oberfläche, die S heifsen möge. Um dann das Product $Sx_{''}$ zu erhalten, darf man nur mit x multipliciren und das auf diese Weise erhaltene Product $2\pi y x \sqrt{dx^2 + dy^2}$ integriren, das Integral von $x = a$ bis $x = b$ genommen, welches dann die Summe aller dieser Zonen, multiplicirt in die Abstände ihrer Schwerpuncte von einer auf die Axe OX lothrechten, durch den Punct O gelegten Ebene, oder die ganze Oberfläche multiplicirt mit dem Abstande $x_{''}$ ihres Schwerpunctes von dieser nämlichen Ebene giebt. Hiernach ist also

Digitized by Google

$$Sx_{''} = 2\pi \int xy \sqrt{dx^2 + dy^2}.$$

14) Es sey z. B. die erzeugende Curve das Stück des Bogens AB, welches um die Axe CX gedreht wird. Mit Beibehaltung der § 11. bereits gegebenen Bestimmungen hat man

$$y = \sqrt{r^2 - x^2}, \quad \sqrt{dx^2 + dy^2} = \frac{r\,dx}{\sqrt{r^2 - x^2}}.$$

Hieraus folgt also

$$S = 2\pi. \int y \sqrt{dx^2 + dy^2} = 2\pi. \int r\,dx,$$

$$Sx_{''} = 2\pi. \int yx \sqrt{dx^2 + dy^2} = 2\pi. \int r x\,dx.$$

Hierin das Integral von $x = CE = a$ bis $x = CA = b = r$ genommen erhält man

$$S = 2\pi r\,(r - a) \text{ und } Sx_{''} = \pi r\,(r^2 - a^2)$$

und also

$$x_{''} = \tfrac{1}{2}\,(r + a) = \frac{CA + CE}{2}.$$

Der Schwerpunct der durch Umdrehung des Bogens AB um die Axe CX erzeugten hohlen Fläche liegt also in der Mitte von EA.

15) Ohne diese Untersuchungen weiter fortzusetzen, die zunächst in das Gebiet der Geometrie gehören, füge ich für die praktische Anwendung noch eine Uebersicht der Lage der Schwerpuncte hinzu, die durch Anwendung der verschiedenen Methoden aufgefunden worden sind.

a) Der Schwerpunct einer geraden Linie liegt in ihrer Mitte.

b) Der Schwerpunct von zwei Linien, die eine beliebige Neigung gegen einander haben, liegt in der Mitte derjenigen geraden Linie, die ihre beiderseitigen Schwerpuncte mit einander verbindet.

c) Der Schwerpunct von drei Linien, die drei beliebige Winkel einschliefsen, wird gefunden, wenn man zwei der eingeschlossenen Winkel A und C durch die Linien $A\alpha$ und $C\gamma$ halbirt, dann aus der Mitte der gegenüber liegenden Seiten D und F Linien mit den angegebenen parallel zieht, deren Durchschnittspunct G der gesuchte Schwerpunct ist.

Fig. 294.

d) Der Schwerpunct von vier Linien, die lauter rechte Winkel einschliefsen (ein Parallelogramm bilden), liegt im

Digitized by Google

Durchschnittspuncte der beiden geraden Linien, die die Schwerpuncte der beiden einander parallelen verbindet.

e) Der Schwerpunct der gesammten Linien, die eine regelmäfsige Figur einschliefsen, liegt in demjenigen Puncte, welcher von dem Schwerpuncte jeder einzelnen Linie gleich weit absteht, also im Centrum eines in oder um dieselbe beschriebenen Kreises.

f) Der Schwerpunct eines Kreisbogens ist die vierte Proportionale zum Halbmesser, der Chorde und dem Bogen, also nach der oben §. 6. gegebenen Bezeichnung $x_{,,} : r = c : l$, woraus $x_1 = \frac{rc}{l}$, wenn der Abstand x_1 des Schwerpunctes vom Centrum des Kreises an gemessen wird. Nach trigonometrischer Bezeichnung ist, wenn man den halben Bogen mit α bezeichnet, der ganze Bogen $l = 2r\alpha$, die Chorde $c = 2r$ Sin. α, und diesemnach der Abstand des Schwerpunctes vom Centrum des Kreises oder $x_1 = r \frac{\text{sin. } \alpha.}{\alpha}$. Z. B. für den Quadranten ist $\alpha = \frac{\pi}{4}$, Sin. $\alpha = \frac{1}{2}\sqrt{2}$, also $x_1 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}$.

g) Der Schwerpunct eines cykloidischen Bogens, welcher vom Durchmesser des erzeugenden Kreises in zwei gleiche Hälften getheilt wird, liegt in diesem Durchmesser in $\frac{2}{3}$ der Entfernung vom Bogen an bis zur Chorde, die seine beiden Enden verbindet.

h) Der Schwerpunct einer durch drei Linien eingeschlossenen Fläche (eines Dreiecks) wird gefunden, wenn man zwei der Linien halbirt und aus dem Halbirungspuncte eine gerade Linie in die Spitze des gegenüberliegenden Winkels zieht, wo dann der Durchschnittspunct dieser beiden Linien den Schwerpunct der Fläche giebt. Einfacher fällt derselbe in eine von der Spitze auf die Mitte der Basis gefällte gerade Linie, und zwar in einen Punct, welcher $\frac{1}{3}$ der ganzen Länge von der Grundlinie oder also $\frac{2}{3}$ von der Spitze absteht. §. 10.

i) Der Schwerpunct eines rechtwinkligen Vierecks liegt im Durchschnittspuncte von zwei Linien, die die Mitte der je zwei einander gegenüberstehenden Linien verbinden.

k) Um den Schwerpunct eines Trapezes mit zwei parallelen Seiten zu finden, verbinde man die Mitten a und b der parallelen Seiten durch eine gerade Linie, ziehe dann die Fig. 295.

Digitized by Google

Diagonale BD und suche die Schwerpuncte c und d der beiden Dreiecke ADB und BDC, so ist der Durchschnittspunct einer diese beiden Schwerpuncte verbindenden Linie mit der Linie ab der Schwerpunct des ganzen Trapezes.

l) Am leichtesten findet man den Schwerpunct eines jeden Vierecks, wenn man die Diagonalen AC und DB zieht, DB in E halbirt, dann die Linie CF von A nach L aufträgt, die Puncte E und L durch eine Linie verbindet und $\frac{1}{4}$ dieser Linie von der Mitte der Diagonale an nimmt, welches den Schwerpunct G des ganzen Vierecks giebt.

Fig. 296.

m) Der Schwerpunct eines Vielecks liefse sich durch Zerlegung desselben in andere Figuren und Verbindung der einzelnen Schwerpuncte finden; allein dieses würde zuweilen sehr beschwerlich seyn. Leichter ist es daher, nach der §. 9. gegebenen allgemeinen Methode das Vieleck in lauter Triangel zu zerlegen, von jedem einzelnen derselben den Inhalt zu berechnen und die Abstände ihrer Schwerpuncte von zwei in der Ebene der Figur beliebig gezogenen Linien (rechtwinkligen Coordinatenaxen) zu messen. Wird dann die in Beziehung auf jede dieser Linien gebildete Summe der Momente dieser Dreiecke durch die Summe ihrer Flächen dividirt, so erhält man den Abstand des Schwerpunctes des Vielecks von jeder dieser Linien. Als Beispiel diene das Fünfeck ABCDE. Von den drei Dreiecken ABC, ACD, ADE seyen die drei Schwerpuncte $= S'$, S'' und S''' und der Schwerpunct der ganzen Figur $= S$, die drei Ordinaten auf die Abscissenaxe OX seyen $S's' = y'$, $S''s'' = y''$, $S'''s''' = y'''$ und die gesuchte $Ss = y$, ferner seyen die drei Abscissen $Os' = x'$, $Os'' = x''$, $Os''' = x'''$ und die gesuchte $Os = x$, der Flächeninhalt des Dreiecks $ABC = \lambda'$, $ACD = \lambda''$, $ADE = \lambda'''$ und des Fünfecks $= \lambda$, so ist

Fig. 297.

$$x = \frac{\lambda' x' + \lambda'' x'' + \lambda''' x'''}{\lambda},$$

$$y = \frac{\lambda' y' + \lambda'' y'' + \lambda''' y'''}{\lambda}.$$

Wird also $x = Os$ und $y = sS$ genommen, so ist S der gesuchte Schwerpunct.

n) Der Schwerpunct eines Kreissegmentes liegt in einem Abstande x vom Centrum des Kreises, welcher dem Cubus der Chorde dividirt durch 12mal den Flächeninhalt des Seg-

Digitized by Google

mentes gleich ist, oder nach der oben §. 11. gegebenen Formel ist $x = \frac{c^3}{12\lambda}$, wenn c die Chorde und λ die Fläche bezeichnet.

o) Bei einem Kreissector ist der Abstand des Schwerpuncts vom Centrum der vierten Proportionale zu zwei Drittheilen des Radius, der Chorde und des Kreisbogens gleich, oder wie oben $x = \frac{2}{3}\frac{rc}{l}$, wenn l die Länge des Bogens bezeichnet. Heifst der den Bogen messende halbe Winkel im Bogenmafs α, so ist der Bogen $= 2r\alpha$, die Chorde $= 2r \text{ Sin. } \alpha$, und man hat $x = \frac{2}{3} r \frac{\text{Sin. } \alpha}{\alpha}$.

p) Es folgt aus der unter n gegebenen Formel unmittelbar, dafs der Schwerpunct der zwischen zwei parallelen Chorden c und c′ eingeschlossenen Fläche um eine Länge $= \frac{(c^3 - c'^3)}{12\lambda}$ vom Centrum des Kreise sabstehe.

q) Der Abstand des Schwerpuncts einer zwischen zwei Kreisbogen A B und a b liegenden Fläche, deren ersterer dem Radius $= r$, der andere dem $= \varrho$ zugehört, vom Centrum des Kreises an gemessen ist Fig. 298.

$$x = \frac{2}{3}\frac{r^3 - \varrho^3}{r^2 - \varrho^2} \cdot \frac{\text{Sin. } \alpha}{\alpha} = \frac{2}{3}\frac{r^2 + \varrho^2 + r\varrho}{r + \varrho} \cdot \frac{\text{Sin. } \alpha}{\alpha}.$$

r) Bei einer durch zwei gleiche parabolische Schenkel und eine Grundlinie begrenzten Fläche liegt der Schwerpunct in der Axe $\frac{3}{5}$ von der Basis oder $\frac{3}{5}$ vom Scheitel entfernt.

s) In einer dreikantigen Pyramide befindet sich der Schwerpunct in einer geraden Linie, welche aus dem Schwerpuncte einer der Seitenflächen nach der gegenüberstehenden Ecke gezogen wird, und zwar in $\frac{1}{4}$ des hierdurch gemessenen Abstandes von der Fläche oder in $\frac{3}{4}$ von der Ecke.

t) Man übersieht bald, dafs in jedem vielkantigen pyramidalen Körper und also auch im Kegel der Schwerpunct in einer aus dem Schwerpuncte der Basis in die Spitze gezogenen Linie, und zwar im vierten Theile ihrer Länge von der Basis an, liegen müsse.

u) In einer abgekürzten dreikantigen Pyramide, deren untere Grundfläche $= a$, die obere $= b$ und der normale Abstand beider von einander $= h$ genannt wird, liegt der

Digitized by Google

Schwerpunct in einem Abstande von der untern Fläche, welcher x genannt

$$x = \tfrac{1}{2} h \frac{a + 3b + 2\sqrt{ab}}{a + b + \sqrt{ab}}.$$

Ebendiese Bestimmung gilt für die vielkantige abgekürzte Pyramide und den abgekürzten Kegel. Im letztern Falle sind dann die beiden Flächen $r^2\pi$ und $\varrho^2\pi$, weswegen man auch erhält

$$x = \tfrac{1}{2} h \frac{r^2 + 3\varrho^2 + 2r\varrho}{r^2 + \varrho^2 + r\varrho}.$$

v) Heifst bei einem Kugelsegmente der Halbmesser der Grundfläche ϱ, die Höhe bis zum Scheitel h, so ist der Abstand des Schwerpuncts von der Basis

$$x = \tfrac{1}{2} h \frac{2\varrho^2 + h^2}{3\varrho^2 + h^2}.$$

In der Halbkugel ist $\varrho = r$ und $h = r$, wenn r den Halbmesser bezeichnet, und also ist

$$x = \tfrac{3}{8} r.$$

w) Der Schwerpunct eines Kugelsectors vom Mittelpuncte der Kugel oder von der Spitze des Kugelausschnittes an gerechnet liegt in einer Entfernung

$$x = \tfrac{3}{8} (2r - h).$$

Heifst bei einer körperlichen Kugelzone der Halbmesser der untern Fläche $= \varrho$, der obern $= \varrho'$, die Höhe $= h$, so ist der Abstand des Schwerpuncts von der untern Fläche

$$x = \tfrac{1}{2} h \frac{2\varrho^2 + 4\varrho'^2 + h^2}{3\varrho^2 + 3\varrho'^2 + h^2}.$$

x) Zur Bestimmung der Schwerpuncte der Konoide dienen folgende Formeln. Bezeichnet bei der Ellipse a die grofse, b die kleine Axe und h die Höhe, so ist bei einem durch Umdrehung des elliptischen Bogens um die grofse Axe entstandenen Konoide der Abstand des Schwerpunctes vom Scheitel

$$x = \frac{h}{4} \cdot \frac{8a - 3h}{3a - h},$$

bei einem durch Umdrehung um die kleine Axe entstandenen dagegen ist

$$x = \frac{h}{4} \cdot \frac{8b - 3h}{3b - h}.$$

Bei einem parabolischen Konoide ist, diese Bezeichnungen beibehalten, der Abstand des Schwerpunctes vom Scheitel

$$x = \tfrac{2}{3}h$$

und bei einem hyperbolischen Konoide ist

$$x = \frac{h}{4} \cdot \frac{8a + 3h}{3a + h}.$$

Dafs der Schwerpunct eines Prisma, eines Cylinders und eines jeden regulären Körpers im Mittelpuncte liege, ist so natürlich, dafs es kaum erwähnt zu werden verdient.

16) Selten wird erfordert, den Schwerpunct hohler Körper zu bestimmen. Ohne diese Aufgabe im Allgemeinen und im ganzen Umfange zu erörtern wird es genügen, blofs diejenigen Bestimmungen hier aufzunehmen, die sich auf eine durchaus gleichmäfsige Dicke und Dichtigkeit der einschliefsenden Massen beziehn, in welchem Falle die Aufgabe auf die Bestimmung des Schwerpuncts der Flächen zurückkommt. Bei einem jeden hohlen Prisma mit parallelen Endflächen liegt der Schwerpunct der ganzen Oberfläche in dem Durchschnittspuncte einer Linie, welche die Schwerpuncte beider Endflächen verbindet, da wo sie durch eine das Prisma halbirende Ebene geschnitten wird. Ein Hohlmafs besteht aus einem Ringe, welcher $= 2r\pi h$ ist, wenn r den Halbmesser und h die Höhe bezeichnet, und aus einem Boden, welcher $= r^2\pi$ ist. Das Moment des Ringes ist $2r\pi h \times \frac{1}{2}h = r\pi h^2$, des Bodens $= r^2\pi \times 0 = 0$, wenn man den Abstand des Schwerpunctes von der Grundfläche bestimmen will. Mithin ist die Summe der Momente der Flächen $= r\pi h^2$ und die Summe der Flächen $= r^2\pi + 2r\pi h$. Ersteres durch letzteres dividirt giebt den Abstand des Schwerpunctes vom Mittelpuncte der Bodenfläche in der Axe

$$x = \frac{h^2}{r + 2h}.$$

Dafs der Schwerpunct der Oberfläche einer Pyramide in $\frac{1}{3}$ der Höhe von der Basis liegen müsse, versteht sich von selbst, weil man die ganze Pyramide aus lauter solchen in einander geschobenen hohlen Pyramiden zusammengesetzt denken kann. Ebendieses findet auch beim Kegel statt. Für die Oberfläche eines abgekürzten Kegels, wobei die Halbmesser der grofsen und kleinen Fläche $= r$ und ϱ sind, die Höhe aber h genannt wird, ist der Abstand des Schwerpunctes von der Basis

$$x = \frac{h}{3} \cdot \frac{r+2\varrho}{r+\varrho},$$

für die Oberfläche nebst beiden Endflächen aber mit Beibehaltung der gewählten Bezeichnungen und die Länge der Seite = b genannt ist

$$x = \frac{h}{3} \cdot \frac{b(r+2\varrho)+3\varrho^2}{b(r+\varrho)+r^2+\varrho^2}.$$

Bei der Oberfläche einer Kugelzone endlich, ebenso wie bei der Halbkugel, liegt der Schwerpunct in der Mitte ihrer Axe.

17) Von den hier mitgetheilten Untersuchungen läfst sich leicht eine Anwendung auf die Fälle machen, wenn Körper aus Massen von ungleicher Dichtigkeit zusammengesetzt sind, oder wenn der gemeinschaftliche Schwerpunct mehrerer auf irgend eine Weise vereinter, ungleich grofser und ungleich dichter Körper bestimmt werden soll. Da hier eine allgemeine Andeutung dieser Aufgabe genügt, so bemerke ich blofs, dafs man im ersten Falle die ungleich dichten Massen, woraus ein gegebener Körper zusammengesetzt ist, als für sich bestehende Körper betrachten, deren Schwerpuncte auf die bereits angegebene Weise bestimmen und demnächst diese insgesammt zu einem gemeinschaftlichen vereinigen müsse. Dafs auf diese nämliche Weise auch der gemeinschaftliche Schwerpunkt mehrerer vereinter Körper gefunden werde, ergiebt sich von selbst[1].

18) Da der Schwerpunct seinem Wesen nach derjenige Punct ist, in welchem die gesammte Schwere oder das ganze

---

1 Es scheint mir nicht geeignet, die ausführliche Literatur über die Bestimmung des Schwerpunctes hier mitzutheilen, und ich erwähne daher nur eine neuerdings erschienene gehaltreiche Abhandlung von Nörrenberg in Baumgartner's u. v. Ettingshausen's Zeitschrift. Bd. III. S. 48 ff. 182 ff. u. Bd. V. S. 180. Ueber die sogenannte *Centrobarysche Methode*, den Inhalt der Flächen und Körper zu finden, indem man die Linien und Flächen, durch deren Bewegung sie erzeugt werden, in den Weg multiplicirt, den ihr Schwerpunct bei dieser Erzeugung durchläuft, die schon Pappus (praef. ad Lib. VII. Collect. Math.) kannte, und die *Guldin'sche Regel* (Guldin de Centro gravitatis. Vind. 1635.) vergl. Leibnitz in Act. Erud. Lips. 1695. p. 493. und Varignon in Mém. de Par. 1714. p. 78 bis 123. Viel Schätzbares findet sich in d'Alembert Traité de Dynamique. Par. 1752. 4.

Digitized

Gewicht des Körpers vereint gedacht wird, so genügt es, bei allen sich auf seine Masse beziehenden Bewegungen blofs diesen als bewegt zu betrachten. Die Bahn eines Körpers ist daher diejenige geometrische Linie, welche sein Schwerpunct beschreibt. Denkt man sich irgend einen Körper im ganz freien Raume, und so, dafs er selbst oder sein Schwerpunct nach keiner Seite hin angezogen wird, so kann letzterer jede mögliche Lage nach allen Richtungen hin willkürlich annehmen. Wird aber der Körper durch irgend einen andern angezogen, so folgt aus der Natur der Sache, dafs man den Schwerpunct als den Angriffspunct oder den gemeinschaftlichen Mittelpunct aller auf seine einzelnen Theile wirkenden Ziehkräfte betrachten könne, welcher ihnen daher auch vorzugsweise folgen mufs. Folgt daher der Körper der Anziehung durch die Erde, so wird der Schwerpunct in der Falllinie selbst und zugleich möglichst tief liegen, bei geworfenen Körpern aber liegt der Schwerpunct in seiner Bahn möglichst weit voraus, weswegen man beim Verfertigen der Patronen dem Schwerpuncte der Kugeln eine solche Lage giebt, dafs er beim Fortfliegen der Kugeln von selbst diesen Ort einnimmt, ohne durch das Einrücken in denselben eine Umdrehung der Kugel um irgend eine Axe zu bewirken, die sonst leicht fortdauert und eine Abweichung von der eigentlichen Bahn durch fortgesefzte Rotation erzeugt[1]. Ist der Schwerpunct unbeweglich befestigt, so kann der ganze Körper weder fallen noch im Ganzen sich bewegen, jedoch setzt diese Bedingung blofs ein Ruhen des Schwerpunctes voraus, die Theile des Körpers aber können sich um diesen bewegen und werden in dieser Hinsicht auch der geringsten Kraft folgen, da einer solchen Bewegung in der Regel nur sehr unbedeutende Hindernisse entgegenstehn. Hieraus wird erklärlich, dafs die Luftballons bei ihrem Schweben so leicht eine, meistens sehr schnelle, Bewegung um ihre verticale Axe (in welcher der Schwerpunct den möglichst tiefsten Punct inne hat) annehmen, dahin gehört ferner die Rotation der Geschützkugeln, die schnelle rotirende Bewegung der Eismassen in den Polarmeeren, die merkwürdigen Drehungen kleiner Kampferstücke[2] u. s. w. Nur bei schwimmenden Körpern kann durch

1 Vergl. *Ballistik.* Bd. I. S. 722.

2 S. *Adhaesion.* Bd. I. S. 203. Dort sind die Drehungen des

die im Schwerpuncte der verdrängten Masse der Flüssigkeit vereinte Kraft, die beim Zustande der Ruhe mit dem Schwerpuncte des Körpers in einer verticalen Linie liegt und diesem entgegenwirkt, ein Ruhen dieses Schwerpunctes, verbunden mit einer Beweglichkeit der Theile des Körpers nach allen Richtungen hin, als möglich gedacht oder namentlich bei einer aus homogener Masse bestehenden Kugel wirklich dargestellt werden; in allen andern Fällen aber findet die Unterstützung des Schwerpunctes durch physische Axen statt, deren geometrische Axen den Schwerpunct des Körpers schneiden und dem Körper gestatten, in jeder Lage, in welche er durch Umdrehung um diese Axe gebracht wird, zu ruhn. Oft wird dann der Schwerpunkt der unterstützenden Axe durch eine zweite und auch wohl noch mehrere Axen, die in verschiedenen Ebenen liegen, wieder unterstützt und dadurch eine Drehung des Körpers in mehrern oder in jeder beliebigen Ebene und ein Ruhen desselben in jeder möglichen Lage bedingt. Auf solche Weise unterstützt sind die Drehbassen, die beweglichen Quadranten, die Mittagsfernröhre und astronomischen Kreise, als wahres Muster eines schweren und dennoch nach allen Seiten mit gröfster Leichtigkeit beweglichen Körpers kann aber das durch Fraunhofer für Dorpat verfertigte Riesenfernrohr dienen [1].

19) Die so eben erwähnten leichten Drehungen solcher Körper, die im Schwerpuncte vollständig unterstützt durch *Adhaesion* gewisser Theilchen an andere in schnelle Bewegung versetzt werden, lassen sich leicht durch Aufzählung vieler anderer vermehren. Schneidet man z. B. ein längliches Stück aus der Fahne einer Feder ab, bestreicht dieses an beiden Enden an den gegenüberstehenden Rändern mit etwas fettem Oele oder noch besser mit etwas Lavendel- oder Nelkenöl und legt es auf reines Wasser, so dreht es sich um seinen Mittelpunct mit beiden Enden nach den dem Oele

---

Kampfers aus den Gesetzen der Adhaesion erklärt und eine Menge Erfahrungen in der Wellenlehre der Gebrüder Weber S. 82. beweisen die Richtigkeit dieser Ansicht.

1. Beschreibung des auf der Sternwarte der Kaiserl. Univers. zu Dorpat befindl. grofsen Refractors von Fraunhofer. Herausgegeben von F. G. W. Struve. Dorpat 1832. imp. fol.

entgegengesetzten Seiten. Ist blofs das eine Ende bestrichen, so läuft das Stückchen wie ein Kahn mit dem entgegengesetzten Ende voran, und geschieht das Bestreichen an der Seite, so erfolgt eine Drehung im Kreise, dessen Centrum das unbestrichene Ende bildet. In allen Fällen sieht man an den entstehenden Regenbogenfarben, wie sich das Oel über dem Wasser ausbreitet. Unter diese Classe von Erscheinungen rechne ich auch die interessante, von Runge[1] entdeckte. Man schüttet in ein grofses Uhrglas oder ein kleines anderes Schälchen reines Quecksilber einige Linien hoch, gieſst darüber etwa 1 Lin. hoch Salzwasser und wirft dann kleine Bröckchen Kupfervitriol hinein. Senkt man alsdann einen Eisendraht in das Quecksilber herab, so zieht sich die über dem Quecksilber gebildete feine Haut mit grofser Energie nach demselben hin und setzt hierbei die kleinen noch nicht zergangenen Bröckchen Kupfervitriol in eine starke rotirende und zitternde Bewegung, die ohne Unterbrechung fortdauert, so lange noch der Draht das stets neugebildete Häutchen anzieht, weswegen man denselben zuweilen herausziehn und reinigen mufs. Dieses Angezogenwerden des Häutchens deutet unverkennbar auf eine mechanische Bewegung, obgleich andere Gelehrte geneigt waren, dieselbe für eine Folge der durch die beiden Erreger und den feuchten Leiter erzeugten Elektricität zu halten. Allein hierzu scheinen mir die beiden Glieder der Volta'schen Kette viel zu schwach, auch zeigt weder das Quecksilber, noch das Wasser eine Bewegung, sondern blofs das Häutchen und die an diesem hängenden Vitriolstückchen, wodurch sich dieses Phänomen von ähnlichen, allerdings elektrischen, unterscheidet.

20) Da im Schwerpuncte die Schwere, also auch die Bedingung des Fallens, befindlich gedacht wird, so kann ein Körper nicht ruhn, so lange sein Schwerpunct nicht am Fallen gehindert ist, worauf der Satz beruht, dafs der Schwerpunct allezeit die tiefste Stelle einnehmen (dem Centrum der Erde so nahe kommen) wird, als er zu erreichen vermag. Das Herabsinken des Schwerpunctes ist hierbei stets ein Fallen, wenn dieses auch nicht so augenfällig hervortritt, als beim freien Falle der Körper. Schwimmende Körper, durch Reibung an einer Veränderung ihrer Lage nicht gehindert,

1 G. LXXXV. 106.

werden daher stets so zur Ruhe kommen, dafs ihr Schwerpunct den möglichst tiefsten Punct einnimmt. Hierauf kommt eine interessante Spielerei zurück, die in etwas eleganterer Darstellung an einer kleinen Figur, dem *schottischen Tänzer* (*Scottish dancer*), gezeigt wird. Benetzt man eine Glasscheibe, eine ebene porzellanene Schüssel oder einen flachen Teller mit Wasser, legt darauf die gleichfalls benetzte convexe Seite eines Uhrglases oder einer Glaslinse und giebt man der unterstützenden Ebene eine schickliche Neigung gegen den Horizont, so sinkt die durch Adhäsion zwischen den beiden sich berührenden Flächen befindliche Wasserschicht etwas herab, der Schwerpunct des Uhrglases oder der Linse kommt über den Unterstützungspunct zu liegen, und da die adhärirende Flüssigkeit das Herabgleiten hindert, so erfolgt eine Umdrehung um den Unterstützungspunct. Das adhärirende Glas sinkt zwar hierdurch etwas herab, allein da die Bedingung des Umdrehens stets aufs Neue wieder erzeugt wird, so dauert dasselbe ohne Unterbrechung fort, so lange man durch eine schickliche Veränderung der Neigung sie unterhalten will, und erreicht nicht selten einen unglaublichen Grad der Geschwindigkeit. Befestigt man in dem Uhrglase oder auf der Glaslinse eine vertical stehende leichte Figur, so hat man den schottischen Tänzer.

21) Geht die Directionslinie des Fallens bei einem Körper nicht zugleich durch den Schwerpunct und den Unterstützungspunct, liegt demnach der erstere höher als der letztere und ist der Körper beweglich, so wird der Schwerpunct bis zur gröfstmöglichen Tiefe herabsinken, mag derselbe durch den Gegendruck einer Flüssigkeit oder auf sonstige Weise unterstützt seyn. Bei diesem Herabsinken erhält er gewöhnlich eine aus der Wirkung der Schwere folgende beschleunigte Geschwindigkeit, die ihr Maximum erreicht, wenn er in die Directionslinie des Falles gelangt, und wenn dann seiner Bewegung kein genügendes Hindernifs entgegensteht, so wird er dieselbe fortsetzen, bis die abnehmende Geschwindigkeit $= 0$ wird; dadurch ist er jedoch zu einer seiner erlangten Geschwindigkeit proportionalen Höhe über den Unterstützungspunct hinausgerückt, wird also wieder zurückfallen, und diese wechselnden Bewegungen werden sich wiederholen, was man das Oscilliren des Schwerpunctes um den Unterstützungspunct nennt. Dieses findet statt bei den Waagebal-

Digitized by Google

ken, den Pendeln, den winkenden chinesischen Porzellanköpfen, die man ehemals auf den Schränken aufzustellen pflegte, den Sägemännern, die eine Säge am Rande des Tisches auf und ab bewegen, den balancirenden Puppen, die mit einem Fufse auf einer Spitze sich drehn und schaukeln, wie aus den Zeichnungen leicht ersichtlich ist, in denen u und s die Lagen der Schwerpuncte und der Unterstützungspuncte andeuten. Fig. 299. u. 300. Eine diesen Erscheinungen ähnliche ist diejenige, die in America in North-Providence vieles Aufsehn erregt hat. Ein Paar grofse Felsblöcke liegen auf ihrer steinernen Unterlage so, dafs sie gewöhnlich ruhen; erhalten sie aber einen Druck durch den Wind, so wird ihr Schwerpunct etwas über den Unterstützungspunct gehoben, sie sinken bei nachlassendem Drucke herab und gerathen so in eine schwankende Bewegung, weswegen man sie *Rocking-Stones* genannt hatte[1]. Schwankungen dieser Art werden um so weniger statt finden, je gröfser die zu bewegende Last ist und je höher bei gleicher durchlaufener Bahn der Schwerpunct aufsteigt, wobei dann noch der Widerstand der Bewegung zu berücksichtigen ist. Träge Waagebalken von grofser Masse, nicht feiner Politur und bei denen der Schwerpunct tief unter dem Unterstützungspuncte liegt, ebenso wie kurze Pendel, werden daher schnell oscilliren und bald zum Stillstande kommen, wogegen die feinsten Waagen bei Wägungen sehr kleiner Lasten auch den geduldigsten Experimentator oft ermüden, sehr lange Pendel aber oft gar nicht zum Stillstande zu bringen sind.

22) Fällt die durch den Schwerpunct eines Körpers gehende lothrechte Linie, die man auch die *Directionslinie des Fallens* nennt, innerhalb einer unterstützenden Ebene und ist sie auf diese lothrecht gerichtet (bei beladenen Wagen innerhalb der Räder), so kann der Körper nicht fallen, er wird aber durch sein eigenes Gewicht fallen, wenn jene Directionslinie verlängert über die unterstützende Ebene hinausgeht. Ist die unterstützende Ebene gegen den Horizont geneigt und fällt die Directionslinie des Falles innerhalb derselben, so wird der Körper hinabgleiten, wenn ihn die Reibung hieran nicht hindert. Das Hinabrollen der Kugeln ist nichts anderes als ein Fallen in Folge des wiederholten Umschlagens, da die Falllinie nicht innerhalb der Ebene endigt, die dem Körper zur Unter-

1 Silliman Amer. Journ. of Sc. T. X. p. 9.

Digitized by Google

stützung dient. Ein Körper ruht am vollkommensten, wenn alle von den Puncten seiner Masse herabgehende verticale Linien lothrecht auf der unterstützenden Ebene stehn; da aber starre Körper ihre Gestalt nicht ändern können, so genügt es schon, wenn alle von der Grenze einer durch den Körper gelegten horizontalen Ebene herabgehende verticale Linien lothrecht auf die unterstützende Ebene herabgehn. Statt die Grenze der auf diese Weise entstandenen Figur in allen Puncten zu unterstützen, genügt es in Gemäfsheit der angenommenen Starrheit und Unbiegsamkeit der begrenzenden Linien, wenn die Unterstützung nur in einigen Puncten statt findet, deren Zahl jedoch nicht weniger als drei seyn darf, weil durch eine geringere Anzahl keine Fläche begrenzt wird, die Unterstützung aber in der Wirklichkeit weder durch einen Punct noch durch eine Linie gegeben werden kann. Durch drei Puncte läfst sich aber in jeder Neigung eine Ebene legen, weswegen ein in drei Puncten unterstützter Körper (das Herabgleiten desselben nicht berücksichtigt) in jeder Ebene ruhen wird, sobald seine verlängerte Falllinie innerhalb der Dreiecksfläche liegt, welche durch die drei Unterstützungspuncte gebildet wird. Es folgt jedoch hieraus nicht, dafs eine dreieckige Fläche am vollkommensten unterstützt, vielmehr wird die Unterstützung um so viel vollständiger, je gröfser die Menge der Directionslinien des Fallens ist, die von gleich viel wiegenden einzelnen Massen des Körpers herabgehend innerhalb derjenigen Linien fallen, durch welche man die äufsersten unterstützenden Puncte verbinden kann.

23) Auf den angegebenen Regeln über die Unterstützung des Schwerpuncts beruht der feste *Stand* der Menschen und Thiere, sowie auch der leblosen Körper. Der Mensch kann auf einem Fufse stehn, weil er dann die Directionslinie seines Fallens so zu richten vermag, dafs sie innerhalb der den Fufs unterstützenden Fläche fällt, er kann aber keine Stellung annehmen, bei welcher sie darüber hinausfällt; der Stand ist aber um so viel sicherer und fester, je gröfser das durch die Füfse gebildete Trapez wird, weswegen diejenigen, die sich zum Ringen oder zur Wältigung einer schweren Last hinstellen, dasselbe von möglichster Gröfse machen. Auf Stelzen kann niemand still stehn, weil die unterstützende Fläche ein langer, aber zu schmaler Streif ist, als dafs nicht der Schwer-

Digitized by Google

punct leicht und bald darüber hinaus gerückt werden sollte. Beim *Gehen* und *Laufen* wird der Schwerpunct mehr oder minder weit über die unterstützende Fläche hinaus gerückt, aber vor dem hierdurch bedingten Fallen durch einen vorgesetzten Fuſs wieder unterstützt; jedoch erfolgt das Fallen unfehlbar, wenn ein unvorhergesehenes Hinderniſs die neue Unterstützung hindert. Beim Laufen bleibt die Directionslinie des Fallens unverändert in der durch die Bahn gelegten verticalen Ebene, weil die Unterstützung durch die Füſse zu schnell wechselt, als daſs ein Fallen nach der rechten oder linken Seite statt finden könnte, beim Gehen aber, insbesondere beim langsamen, wird sie abwechselnd über den einen und den andern Fuſs hingerückt, wodurch eine abwechselnde Bewegung nach beiden Seiten erfolgt. Deswegen ist es nöthig, daſs die Soldaten, bei denen man diesen Wechsel an den Spitzen der Bajonette vergröſsert wahrnimmt, mit dem nämlichen Fuſse gleichzeitig antreten müssen, und auch Fuſsgänger diese Regel befolgen, die durch Einklinken der Arme einander sehr nahe gehn, in jedem Falle um das Anstoſsen mit den Schultern zu vermeiden. Steht ein Mensch gerade, so fällt die Directionslinie seines Fallens mitten in das durch seine Füſse gebildete Trapez, wovon man sich durch Messen mit einem Bleilothe überzeugen kann, und es ist ihm dann unmöglich, den einen erst später durch irgend einen Dritten bestimmten Fuſs aufzuheben, ohne vorher diese Directionslinie durch eine Neigung seines Körpers über den andern Fuſs abzuändern. Beim Bücken wird der eine Fuſs vorwärts gesetzt, oder das Herablassen durch die Beugung der Kniee möglich gemacht. Ein Sitzender kann nicht aufstehn, ohne die Füſse mehr unter sich zu ziehn, oder durch Anwendung sonstiger, dieses ersetzender Hülfsmittel, und wenn jemand sich mit dem Kopfe gegen eine Wand stützt, so daſs seine Füſse mit dem Fuſsboden und die Richtungslinie seines Oberkörpers mit der Wand zwei rechte Winkel bilden, dann aber die Hände auf den Rücken legt, so ist es ihm unmöglich, sich aufzurichten. Trägt jemand eine Last, so fällt die Directionslinie aus dem gemeinschaftlichen Vereinigungspuncte beider Schwerpuncte innerhalb des durch die Füſse gebildeten Trapezes, weswegen der Körper nach der der Last entgegengesetzten Seite hin gebogen wird und eine jede Last mit desto geringerem Aufwande von

Kraft getragen werden kann, je weniger durch ihre Lage dieses Ueberbiegen erfordert wird, also je gleichmäfsiger sie um die durch den Schwerpunct gehende Verticallinie vertheilt ist. Aus diesem Grunde läfst sich unter geeigneten Bedingungen leichter die doppelte Last auf beide Arme gleichmäfsig vertheilt heben, als die einfache mit einem. Es liefsen sich diese Anwendungen leicht noch weiter fortsetzen, wenn es sich der Mühe lohnte, sie einzeln zu erläutern[1].

24) Von ungemeinem Interesse ist es, zu beobachten, inwiefern die bekannten Gesetze des Schwerpunctes bei den Kunststücken der Seiltänzer, Aequilibristen und der durch ungewöhnliche Körperstärke sich auszeichnenden Athleten (sogenannte Herculesse) in Anwendung gebracht werden. Im Allgemeinen ist bei den Balancirungen die gleichzeitig stattfindende Bewegung ein vorzügliches Hülfsmittel und das, was die Sache nach der Meinung der Unkundigen erschwert, dient vielmehr sie zu erleichtern. Eins der gemeinsten Kunststücke besteht darin, dafs der Griff eines Degens auf das Kinn gesetzt, auf die Spitze eine Scheibe gelegt, auf diese wieder ein etwas längerer Stift aufgerichtet, auf diesen ein Teller mit einem Glase voll Flüssigkeit gelegt und dieses alles balancirt wird, während Scheibe und Teller sich schnell um ihre Axe drehen. Letzteres scheint eine erschwerende Zugabe zu seyn, ist aber vielmehr eine das Ganze möglich machende Bedingung. Jeder Körper müfste sich nämlich auf einer feinen Spitze balanciren lassen, weil ein einzelner Punct hinreicht, der geometrischen Linie, die vertical durch seinen Schwerpunct herabgeht, entgegen zu wirken; allein es ist in der Wirklichkeit unmöglich, diese Linie eben wegen ihrer Feinheit genau über den Unterstützungspunct zu bringen und jede Ursache zu entfernen, die sie darüber hinaus rückt. Ist aber a c die durch seinen Schwerpunct s gehende Linie, b o die verticale, in welcher er unterstützt wird, so dafs er also in der Richtung b a fallen müfste, so beschreibt bei hinlänglicher Drehung sein

Fig. 301.

---

1 Ueber diese Probleme redet schon Aristoteles Quaest. mech. 31. Ausführlicher handeln darüber Borelli de motu animalium. 1ste Ausg. Rom. 1680 u. 81. 4. 7te Hagae 1741. 4. Leupold Theatrum Static. Lips. 1720. und die älteren Physiker s'Gravesande, Musschenbroek und insbesondere Desaguliers Course of Experimental philos. Lect. 11. §. 44.

Digitized

Schwerpunct s einen Kreis um die unterstützte verticale, wonach er also schon nach s′ gelangt ist, ehe er Zeit hatte, tiefer herabzusinken. Der Körper wird also nicht fallen können, so lange seine Bewegung schnell genug ist, seinen Schwerpunct nach der entgegengesetzten Seite zu bringen, als wohin er zu fallen sich neigt. Man ersieht dieses am besten an einer Scheibe, welche etwas excentrisch auf einer freien Spitze ruhend in horizontaler Ebene durch schnelle Umdrehung balancirt wird, auch zeigen dieses die gewöhnlichen Kreisel, die kleinen Drehscheiben der Kinder u. s. w. Aus den angegebenen Bedingungen des Balancirens folgt, dafs lange und schwere Körper sich leicht balanciren lassen, bei zunehmender Kürze und Leichtigkeit derselben aber man bis zu einer Grenze gelangt, wo das Balanciren unmöglich wird. Ist nämlich a c eine lange Stange, deren Schwerpunct in s liegt, so wird sie vertical gerichtet auf den Unterstützungspunct c mit ihrer ganzen Last drücken, in der Richtung c g aber gar keinen Druck ausüben, und letzterer wird also dem Sinus ihres Neigungswinkels porportional seyn. Je gröfser also ihr Gewicht ist, um so leichter wird der Balancirende die Abnahme ihres Druckes wahrnehmen, wenn sie aus der verticalen Richtung hinausrückt, und da der Bogen a α oder s s′, den ihre Spitze oder ihr Schwerpunct durchlaufen mufs, bedeutend grofs wird, bis ihr Schwerpunct um eine merkliche Gröfse herabsinkt, so hat der Balancirende genügende Zeit, den Unterstützungspunct c wieder lothrecht unter den Schwerpunct zu rücken. Es erfordert daher blofs Stärke und Kühnheit, einen Heubaum, eine lange eiserne Stange, eine Leiter mit einem Kinde am oberen Ende u. s. w. zu balanciren, ein Stock mit einem Bleiknopfe wird leicht balancirt, eine Pfauenfeder zu balanciren gilt für ein Kunststück, aber eine kurze Stecknadel zu balanciren würde zwar dem Unkundigen nicht auffallend scheinen, ist aber wirklich eine Unmöglichkeit. Aus gleichen Gründen ist die Balancirstange ein sehr erleichterndes Hülfsmittel, und zwar um so mehr, je länger und je schwerer sie insbesondere durch Bleigewichte an ihren Enden ist, weil sie durch Benutzung der durch ihre Trägheit gegebenen Gegenwirkung dazu behülflich ist, den Schwerpunct des Seiltänzers wieder über den Unterstützungspunct zu bringen. Wäre die Stange so tief herabgebogen und mit so starken Gewichten

Fig. 802.

Digitized by Google

an ihren Enden beschwert, dafs der gemeinschaftliche Schwerpunct des Seiltänzers und der Stange unterhalb des Seiles fiele, so wäre das Fallen unmöglich und der Künstler würde dem bereits beschriebenen, auf einer Spitze von selbst balancirenden Männchen gleichen. Hierhin gehören auch die kleinen Burzelmännchen von dem Marke der Sonnenblumen, mit einer unten befestigten Halbkugel von Blei, die umgelegt oder auf den Kopf gestellt sich von selbst wieder aufrichten. Aehnliche Spielereien beschreiben Schwenter[1] und Leupold[2].

Die stark überhängenden Thürme zu Bologna und Pisa, ersterer so stark, dafs ein Loth vom oberen Rande herabgelassen unten 15 Fufs von der Basis absteht, haben in dieser Hinsicht die Aufmerksamkeit mehrerer Mathematiker in Anspruch genommen. Casatus[3] hat den zu Pisa untersucht und schliefst aus der Anordnung seiner Theile, namentlich daraus, dafs eine überwiegende Menge seiner Masse auf die der Neigung entgegengesetzte Seite gebracht ist, der Baumeister habe ihn mit Fleifs als ein architektonisches Paradoxon so herstellen lassen, worin ihm Labat[4] und de la Lande[5] beipflichten, Condamine[6] dagegen nimmt an, sie hätten sich gesenkt.

Einige Spielereien, bei denen die Gesetze des Schwerpunctes gleichfalls in Betrachtung kommen, als der berganlaufende Cylinder und Kegel und die Quecksilber-Uhr, sind bereits beschrieben worden[7]; noch interessanter aber ist die unter dem Namen *chinesische Puppe* bekannte Vorrichtung. Ein S förmig gebogener, inwendig hohler und mit etwas Quecksilber zum Theil gefüllter hölzerner Körper hat zwei nach entgegengesetzten Seiten hin gerichtete Unterstützungen, denen man ebenso eine den menschlichen Armen und Beinen nahe kommende Gestalt giebt, als dem einen Ende die eines Kopfes. Wird der Körper in einem Puncte unterstützt, so fliefst das

---

1 Mathematische Erquickungsstunden Th. I. Nr. 5, 6 u. 7.
2 Theatr. stat. univer. Tab. 1. fig. 18.
3 Mech. T. I. c. 9.
4 Voyage d'Espagne et d'Italie. T. II. ch. 5.
5 Voyage d'un François en Italie. 1769. 8. Vol. II. p. 18 und p. 482.
6 Mém. de Paris 1757. p. 347.
7 S. *Ebene*. Bd. III. S. 70.

Quecksilber von diesem Ende zum andern, rückt den Schwerpunct über den Unterstützungspunct hinaus und veranlafst ein Ueberschlagen der Figur. Stellt man sie auf eine geeignete Treppe, so wiederholt sich dieses Ueberschlagen und die Figur stürzt sich selbst absatzweise von der Treppe hinab. Musschenbroek[1] beschreibt diesen Apparat und nennt ihn eine chinesische Erfindung. *M.*

Schwimmen.

Natare, innatare fluido, insidere fluido; Flotter, Nager; *Swim.*

Schwimmen heifst in allgemeinster Bedeutung, durch den statischen Gegendruck tropfbarer oder expansibler Flüssigkeiten getragen und am Herabfallen auf eine Unterlage gehindert werden, wobei eigentlich nur von festen Körpern oder solchen, die die Gestalt fester Körper haben, geredet zu werden pflegt und man sich des Ausdrucks *Schwimmen in einer Flüssigkeit* bedient. So sagt man von den Fischen, dafs sie im Wasser schwimmen, die ähnliche Erscheinung bei Sonnenstäubchen, Wolken und Nebelbläschen in der Luft bezeichnet man aber durch *Schweben.* Weit häufiger gebraucht man den Ausdruck Schwimmen von festen oder flüssigen Körpern, die sich auf der Oberfläche der Flüssigkeiten erhalten, und unterscheidet dann das *natürliche* Schwimmen solcher Körper, die specifisch leichter sind, vom *künstlichen,* wenn specifisch schwerere Körper durch den Stofs gegen die Flüssigkeiten am Untersinken gehindert werden.

Das eigentliche Princip des Schwimmens, nämlich das statische Verhalten der Flüssigkeiten oder ihr hydrostatischer Druck, vermöge dessen das Gewicht des durch irgend einen Körper verdrängten Volumens der Flüssigkeit mit dem Gewichte dieses eingesenkten Körpers ins Gleichgewicht kommt, ist bereits vollständig erläutert worden[2]. Hieraus folgt, dafs jeder Körper, welcher bei gleichem Volumen schwerer ist, als die durch ihn aus der Stelle getriebene Masse der Flüssigkeit, nicht voll-

---

1 Introductio T. I. §. 508.

2 S. *Hydrostatik.* Bd. V. S. 576 ff.

ständig statisch getragen werden kann, sondern mit dem Ueberschusse seines Gewichtes auf einer festen Unterlage ruhen müsse, folglich auch herabsinken, bis er eine solche erreicht. Nur selten sind die specifischen Gewichte beider Körper einander so genau völlig gleich, dafs ein eigentliches Schwimmen in der Flüssigkeit, ein Schweben, ein Ruhen an jeder Stelle statt findet. Es giebt jedoch einige, namentlich zwei bekannte Apparate, bei denen diese Bedingung wenigstens auf kurze Zeit statt findet, nämlich die Cartesianischen Schwimmer, die später beschrieben werden sollen, und kleine gläserne Schwimmer, die zur Erläuterung dienen, dafs die Flüssigkeiten durch den Einflufs der Temperatur ihr specifisches Gewicht ändern. Fig. 303. Meistens besteht derselbe aus einer Glasröhre a b, welche unten verschlossen, oben in einen Haken e umgebogen und fast ganz mit Weingeist angefüllt ist. Vor dem Ausziehen der etwa 0,75 Zoll weiten und gegen 8 Zoll langen Röhre in die umgebogene Spitze e werden drei kleine gläserne Schwimmer α, α', α'' hineingebracht, die aus hohlen Kugeln mit einem kleinen Stiele bestehen und durch Abschmelzen eines Theilchens des Stängelchens oder Anblasen eines kleinen Knöpfchens so abgeglichen sind, dafs sie bei einer Temperatur des Weingeistes von etwa 0° C. alle drei mit einem verschwindend kleinen Uebergewichte oben schwimmen. Wird dann der Apparat nur in der Hand etwas erwärmt, so sinkt zuerst der schwerere Schwimmer, dann der zweite, und wenn die Temperatur bis nahe zur Blutwärme steigt, auch der dritte herab. Hierbei kann man es möglich machen, dafs jeder derselben nach Herstellung der geeigneten Temperatur und dauernder Unveränderlichkeit derselben eine geraume Zeit an derjenigen Stelle unverrückt verharrt, wohin man ihn gebracht hat.

Hieraus ergiebt sich also, dafs das erwähnte Schwimmen durch das specifische Gewicht der schwimmenden Körper und derjenigen Flüssigkeit bedingt wird, worin diese schwimmen. Ebendieses ist auch dann der Fall, wenn ein eigentliches statisches Schwimmen stattfindet, wobei ein Theil des schwimmenden Körpers über die Oberfläche der Flüssigkeit hervorragt. Es werden daher Körper, die in gemeinem Wasser untergehn, im Salzwasser schwimmen und auf Quecksilber schwimmen alle Körper, aufser einige wenige specifisch schwerere Metalle, als Gold, Platin und Iridium. Weil aber unter

allen Flüssigkeiten das Wasser in weit überwiegender Menge vorhanden ist, daneben auch zur Bestimmung des specifischen Gewichts der Körper als normale Einheit dient, so wird meistens diese Flüssigkeit als stillschweigend angenommen verstanden, wenn vom Schwimmen im Allgemeinen die Rede ist, dem dann das Untergehen mit gleicher Unbestimmtheit entgegensteht.

Zwar selten, aber entschieden wird der Ausdruck Schwimmen auch von Flüssigkeiten gebraucht, welche specifisch leichter sind als andere und sich daher auf der Oberfläche der letzteren ausbreiten, was jedoch nicht leicht anders geschehen kann, als wenn beide sich überhaupt nicht oder mit einer oft bis zum Verschwinden geringen Schwierigkeit unter einander mischen lassen. Im letzteren Falle werden die Flüssigkeiten dadurch zum Schwimmen gebracht, dafs man sie leicht und ohne einen Stofs auf der Oberfläche der tragenden Flüssigkeit hingleiten läfst. Auf diese Weise können selbst schwerere Flüssigkeiten über leichtere zum Schwimmen gebracht werden, wenn beider Elemente mit einer nicht unbedeutenden Kraft der Adhäsion unter sich selbst zusammenhängen. Man soll daher sogar mit gehöriger Vorsicht concentrirte Schwefelsäure über Wasser ausbreiten können, so sehr auch beide Flüssigkeiten sich gegenseitig zu verbinden streben; mit Wasser über Oel ist die Aufgabe schon leichter. Leichtere Flüssigkeiten auf schwereren schwimmen zu machen, obgleich beide sich gern verbinden, hat noch weit geringere Schwierigkeiten, z. B. die Ausbreitung des Weines über Wasser, die sehr leicht bewerkstelligt wird, wenn man ein Stück Papier, Kork, Brod u. s. w. auf dem Wasser schwimmen läfst und den Wein hierauf giefst, damit er langsam und aus geringer Höhe herabfliefsend sich über der Oberfläche des Wassers ausbreite.

Ein interessanter Apparat, um eine Art von statischem Schwimmen der Flüssigkeiten in einander und, wie sie hierbei der Wirkung des ungleichen specifischen Gewichtes folgen, zu zeigen, ist das *Passevin* oder die Verwandlung des Wassers in Wein. Die Vorrichtung kann so hergestellt werden, dafs man den Vorgang nicht bemerkt. In diesem Falle senkt man in einen hohlen Cylinder AB eine hohle Glaskugel, welche vermittelst einer Schraube von unten in den beweglichen Deckel des Cylinders geschraubt wird, füllt diese vorher mit rothem Fig. 304.

Digitized by Google

Weine und steckt oder schraubt auf ihre obere Oeffnung das leere Gefäfs C. Wird dieses vermittelst eines Trichters oder durch langsames Herabgiefsen am Rande mit Wasser gefüllt, so sinkt letzteres allmälig herab, der Wein dagegen steigt empor und es scheint das Wasser in Wein verwandelt zu seyn. Der nämliche Vorgang wird sichtbar, wenn man eine Fig. 305. Kugel A mit einer etwa 1,5 oder auch nur 1 Lin. weiten und ungefähr 8 bis 10 Z. langen Röhre vorher mit Wasser füllt, dann vorsichtig, damit keine Luft eindringt, umkehrt und in ein weites Glas B mit (rothem) Weine herabsenkt. Es bilden sich sofort in der Röhre zwei entgegengesetzte Ströme, ein rother des aufsteigenden Weines und ein weifser des herabsinkenden Wassers, die beide sehr wohl unterscheidbar sind, bis unten im Gefäfse blofs Wasser, in der Kugel und der Röhre aber blofs Wein vorhanden ist. Die Röhre mufs am unteren Ende α schräg geschnitten oder mit einer unter die Oeffnung verlängerten kleinen Stütze versehn seyn, damit der bereits über dem herabgesunkenen Wasser stehende Wein noch aufsteigen könne.

Man gebraucht den Ausdruck Schwimmen bei einigen Erscheinungen, die nur täuschend sind und ihrem Wesen nach auf andern Gründen, als dem statischen Verhalten der Flüssigkeiten, beruhen, nämlich dafs Goldblättchen im Wasser überhaupt nicht oder blofs zum Theil untergehen und dafs Nähnadeln sich auf der Oberfläche des Wassers erhalten, wenn sie behutsam darauf gelegt sind, welche Phänomene bereits erklärt worden sind[1]. Sie haben, von einer gewissen Seite betrachtet, Aehnlichkeit mit der bekannten Erfahrung, dafs die sogenannten *Sonnenstäubchen* in der Luft schweben und sich nur allmälig als lästiger Staub auf die verschiedensten Gegenstände herabsenken. Im Allgemeinen darf man wohl mit Sicherheit annehmen, dafs dieselben aus kleinen, mechanisch aufgehobenen Theilchen irdischer Körper bestehen, und die Meinung einiger Physiker, die namentlich auch Rafinesque[2] ausgesprochen

---

1 S. *Adhaesion* Bd. I. S. 198.

2 Sillimau Amer. Journ. Th. I. S. 397. Kastner Arch. Th. I. S. 293. Sonnenstäubchen heifsen sie wohl nur deswegen, weil sie durch reflectirtes starkes Sonnenlicht in übrigens wenig hellen Zimmern ihrer Kleinheit ungeachtet sichtbar werden.

hat, dafs es einen von diesem verschiedenen *kosmischen Sonnenstaub* gebe, ist auf jeden Fall blofs hypothetisch und bis so lange auf gar keinem eigentlichen Grunde beruhend, als nicht Substanzen darin aufgefunden werden, die nicht füglich irdischen Ursprungs seyn könnten. Mechanische Bewegung der Flüssigkeiten, sowohl der Luft als auch des Wassers u. s. w., befördern das Aufsteigen und Schweben solcher Körper in ihnen, die nicht eigentlich statisch schwimmen würden, als eben dieser Stäubchen, der Bestandtheile des Schlammes in den Flüssen, des Sandes im Meere, welche bei ruhigem Stehen insgesammt sich allmälig und in einer ihrem absoluten Gewichte umgekehrt proportionalen Zeit herabzusenken pflegen.

Das Schwimmen der Körper erfolgt jederzeit, sobald sie specifisch leichter sind, als die Flüssigkeiten, womit sie in Berührung kommen, und beide Bedingungen sind so innig mit einander verbunden, dafs man das Schwimmen verschiedener Körper benutzt, um ihr eigenes specifisches Gewicht oder das der Flüssigkeiten, worin sie mit einem gewissen aliquoten Theile einsinken, aufzufinden. Umgekehrt aber, wenn das spec. Gewicht der Körper bekannt ist, so weifs man nicht blofs, ob sie schwimmen, sondern auch mit dem wievielsten Theile ihres Volumens sie in die Flüssigkeit eintauchen, vorausgesetzt dafs ihre Form hierauf keinen neuen bedingenden Einfluss ausübt, wie später gezeigt werden wird. Auf welche Weise aber und vermittelst welcher Apparate das spec. Gewicht der Körper gefunden werde, ist bereits[1] gezeigt worden; es wird jedoch zweckmäfsig seyn, hier nachdrücklich diejenigen Erweiterungen kurz anzuzeigen, welche die Wissenschaft in diesen Stücken seitdem erhalten hat.

Der wichtigste Beitrag für dieses physikalische Problem ist von F. Parrot[2], eine Prüfung des von Gay-Lussac vorgeschlagenen *Alkoholometers* und der Vorschlag eines neuen, für den praktischen Gebrauch eingerichteten, um den Gehalt des unreinen Spiritus an Alkohol mit Rücksicht auf die Temperatur zu messen. Hierbei ist zugleich die Aufgabe theoretisch erörtert und eine graphische Darstellung der Verzeich-

1 In den Artt. *Araeometer* und *Gewicht*, specif.

2 Mémoir. de Petersb. VI. Liv. T. I. p. 417.

nung alkoholometrischer Scalen beigefügt, alles zunächst für Rufsland bestimmt, jedoch so, dafs sich leicht eine allgemeine Anwendung davon machen läfst.

Eine abgeänderte Construction des *Nicholson'schen Araeometers* ist durch BAUMGARTNER[1] in Vorschlag gebracht worden. Sie besteht im Wesentlichen darin, dafs der verlängerte cylindrische Stiel des Instrumentes zwei Scalen erhält, durch welche das spec. Gew. eines Körpers unmittelbar gegeben wird, wenn man ihn zuerst in die obere Schale, dann in die untere legt und bemerkt, wie tief er jedesmal die Scale einsinken macht. Der Apparat ist jedoch nicht für Körper von bedeutend verschiedener Gröfse anwendbar, giebt aufserdem nicht sehr grofse Genauigkeit und zeichnet sich blofs durch Schnelligkeit und Bequemlichkeit im Gebrauche aus, weswegen ich eine vollständige Beschreibung desselben und eine Anweisung zur Verfertigung beider Scalen übergehe. MOORE[2] schlägt vor, zur Verzeichnung der Aräometer-Scalen die Waage in Anwendung zu bringen. Verdrängt das Aräometer beim Eintauchen ins Wasser x Gran dieser Flüssigkeit und sucht man das Gewicht, welches es haben müfste, um in reinem Wasser ebenso tief einzusinken, als es bei dem Gewichte = x in einer Flüssigkeit vom spec. Gewichte = y einsinken würde, so findet man dieses durch die Proportion

$$y : 1 = x : \frac{x}{y}.$$

Wird also das Gegengewicht um $x - \frac{x}{y}$ vermehrt, so erhebt sich hierdurch das Aräometer bis zu dem erforderlichen Puncte, bis zu welchem es in einer Flüssigkeit vom specif. Gewichte = y aufsteigen mufs, den man also auf der Scale bezeichnen kann. Sinnreich ist die Anordnung, die PLANIAWA[3] trifft, um eine gemeinschaftliche Scale für leichtere Flüssigkeiten als Wasser und zugleich für schwerere zu erhalten. Sie besteht darin, dafs man eine Aräometerröhre A, die man nicht wohl genau cylindrisch haben kann, um sie nach G. G. SCHMIDT's Me-

Fig. 306.

---

1 Zeitschrift für Physik u. Math. Th. I. S. 1.

2 Ann. of Phil. 1826. Apr. Zeitschr. für Phys. u. Math. Th. I. S. 316.

3 Zeitschr. für Phys. u. verw. Wiss. Th. II. S. 38.

thode zu graduiren, bis zu ihrer Mitte in reinem Wasser bei der gehörigen Normaltemperatur durch hineingegossenes Quecksilber einsinken macht, dann durch die gehörigen Zulegegewichte, deren Werth aus dem Totalgewichte des Apparates entnommen wird, bis ans Ende einsinken macht und die hierdurch erhaltenen Puncte auf der eingeschobenen Scale bezeichnet. Eine andere Röhre B wird dann so vorgerichtet, dafs sie in A gesteckt diese letztere in reinem Wasser gleichfalls bei der Normaltemperatur bis 0,5 einsinken macht. Hiernach kann also vermittelst A allein das spec. Gewicht der Flüssigkeiten gefunden werden, die leichter sind, als Wasser, und nach dem Hineinsenken von B auch derer, die schwerer sind. Die Scale, deren Haupttheile die Zeichnung angiebt, kann in so kleine Theile getheilt werden, als ihre Länge gestattet, so dafs vermittelst einer sehr langen auch geringe Unterschiede der spec. Gewichte sich bestimmen lassen.

Das Aräometer, welches auf der ungleichen Höhe der durch gleichen Luftdruck in zwei nebeneinander stehenden Röhren emporgehobenen Säulen der zu vergleichenden Flüssigkeiten beruht und bereits durch Mester[1] unter dem Namen *Panydrometer* sehr empfohlen wurde, ist seitdem durch Hare[2] als ein neues Instrument bekannt gemacht worden und findet bei einigen Physikern grofsen Beifall. Die von mir, namentlich in Paris, gesehenen Exemplare waren allerdings sehr genau gearbeitet und mit einer ausnehmend feinen Scale versehen, die dazu dienen sollte, die Unterschiede der Höhen der Flüssigkeitssäulen in beiden Röhren und hieraus das Verhältnifs ihrer spec. Gewichte mit möglichster Genauigkeit aufzufinden; allein eine einfache Betrachtung zeigt bald, dafs sie den bereits bekannten anderweitigen Apparaten, mit denen das specifische Gewicht der Flüssigkeiten füglich bis auf 0,0001 gefunden werden kann, weit nachstehn. Gesetzt auch man wollte beide Röhren drei par. Fufs lang machen, so betrüge der zehntausendste Theil einer solchen Scale noch kein halbes Zehntel einer Linie, also eine Gröfse, die beim Stande einer transparenten Flüssigkeit im Glase gar nicht unterschieden werden

---

1 S. *Araeometer*. Bd. I. S. 379.

2 S. *Litrameter*. Bd. VI. S. 449. Edinb. Journ. of Science. Nr. X. p. 368.

kann, abgesehn davon, dafs nicht genauer verticaler Stand des Apparates, mangelhafte Reinheit der inneren Röhrenwandungen und Einfluſs der Capillarität ungleich gröfsere Fehler herbeiführen, als die angegebenen Theile betragen. Soll daher die Idee überhaupt in der Aräometrie zur Anwendung kommen, so dürfte noch die von Meikle[1] vorgeschlagene Construction des Apparates wegen ihrer Einfachheit und Wohlfeilheit den Vorzug verdienen. Hiernach besteht das Ganze aus einer einzigen doppelt gekrümmten Röhre mit beiden aufrecht stehenden Schenkeln, in welche die zu messenden Flüssigkeiten gegossen werden, um ihre specifischen Gewichte nach ihrer ungleichen Höhe vermittelst einer Scale auf einem Brete hinter beiden Schenkeln abzulesen. Eine später durch den Erfinder vorgeschlagene vermeintliche Verbesserung, wonach dieses Instrument aus einer blofsen heberförmig gebogenen Röhre mit nahe neben einander herabgehenden Schenkeln und einem kleinen Löchelchen in der oberen Biegung bestehen soll, ist aus den bereits angegebenen Gründen verwerflich. Das Verfahren ist zwar hierbei höchst einfach, indem man die beiden Schenkel blofs in die zu untersuchenden Flüssigkeiten einsenkt, hierdurch einen Theil der Luft entweichen läfst, dann die Röhre nach verstopfter Oeffnung emporhebt und das spec. Gewicht aus den ungleichen Höhen der Säulen bestimmt[2]; allein dann können ohne grofse Schwierigkeiten die Schenkel nicht hinlänglich lang seyn, auch kann die Scale nicht füglich diejenige Feinheit erhalten, die das Instrument nach der Construction von Hare und Mestre täuschend empfiehlt.

Fig. 307.

Weit zweckmäfsiger als alle diese Vorschläge ist derjenige, wodurch Don Jose Maria Bustamente[3] das Nicholson'sche Aräometer für die Mineralogen bequemer zu machen versucht hat. Hiernach besteht das Instrument aus dem konischen Körper a b d e mit der Spitze d c e, welche zur Aufnahme schwerer Körper, z. B. Bleischrot, dient, damit der Apparat bis zur gehörigen Tiefe einsinke; zugleich läfst sich diese Verlängerung auch in die Vertiefung eindrücken, welche im zugehörigen Wassergefäfse angebracht ist, und auf diese

Fig. 308.

---

1 Philos. Mag. 1826. p. 166.
2 Philos. Magaz. or Annals. T. IV. p. 258.
3 Edinb. Journ. of Science. N. XX. p. 207.

Digitized by Google

Weise erhält man beim Transportiren hinlängliche Sicherheit gegen Erschütterungen. Der obere Deckel des Instrumentes bildet eine Schale afb, von deren Rande zwei Bügel amb und gmh sich in einer messingnen Fassung m durchkreuzen. In dieser befindet sich eine gläserne Röhre mit einer fein eingetheilten papiernen Scale. Oben ist die Röhre wieder mit einer messingnen Fassung n versehen, welche die zweite Schale rs trägt. Das vom Erfinder gebrauchte Exemplar hat eine Länge im Ganzen von 10 engl. Zoll. Der Gebrauch des Instrumentes ist in der That höchst einfach. Die Einrichtung ist so, dafs der untere Teller noch über das Wasser hervorragt. Man legt dann eine Quantität Gewichte auf den oberen Teller, bis der gröfste Theil der Scale unter die Oberfläche des Wassers herabgesunken ist, legt das zu wägende Mineral in die obere Schale und nimmt so viele Gewichte heraus, dafs die Tiefe des Einsenkens unverändert bleibt, wodurch das absolute Gewicht des Körpers gegeben ist. Wird dann das Mineral weggenommen, die nicht bis ans Ende emporgekommene Scale abgelesen, das Mineral in die untere Schale gelegt und abermals abgelesen, so giebt die zuletzt gefundene Gröfse das Gewicht des aus der Stelle getriebenen Wassers. Heifst nämlich das absolute Gewicht des Körpers = P, das Gewicht eines gleichen Volumens Wasser = p, die zuerst abgelesenen Scalentheile (von unten nach oben gerechnet) = a, die zuletzt = b, so hat man

$$P : a = p : a - b$$

und man erhält das specifische Gewicht

$$\Pi = \frac{P}{p} = \frac{a}{a-b}.$$

Es ist jedoch unnöthig, weder P noch auch p zu kennen, wenn man dieses nicht aufserdem verlangt, indem sich aus der Formel ergiebt, dafs die einsinkenden Scalenlängen zur Bestimmung des spec. Gewichtes genügen. Zu diesem Ende beschwert man den oberen Teller so lange mit willkürlichen Gewichten, bis das Instrument auf den Anfangspunct der Scale oder einige Theile derselben eingesunken ist, legt das Mineral in die obere Schale, liest die dann hinzukommenden eingesunkenen Scalentheile = M ab, legt das Mineral in die untere Schale, bemerkt, um wieviel Theile = m es dann weniger einsinkt und erhält auf diese Weise das specifi-

Digitized by Google

sche Gewicht $\Pi = \frac{M}{m}$ unmittelbar. Wäre der Körper leichter als Wasser, so würde er unter den Bügeln festgehalten werden, m aber gröfser als M und daher Π ein ächter Bruch seyn. Eine besondere Vorrichtung verdient wegen ihrer Zweckmäfsigkeit noch bemerkt zu werden. Ueber den Rand des Wassergefäfses sind zwei parallele Fäden oder feine Metalldrähte horizontal und straff ausgespannt, zwischen denen die Röhre sich auf- und abwärts bewegt und vermittelst deren kleine Theile ohne die durch das adhärirende Wasser erzeugte Unbestimmtheit und mit Vermeidung des parallaktischen Fehlers abgelesen werden, da es gleichgültig ist, ob der hervorragende Theil der Scale in der Ebene des Wassers oder beidemal in einer mit dieser parallelen, jederzeit gleich weit abstehenden, abgelesen wird. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dafs der Spiegel des Wassers etwas sinkt, wenn die Aräometerscale höher aufsteigt, und diese Gröfse ist nicht so unbedeutend, als es scheinen könnte, weil die Röhre der Scale bei diesem Instrumente nicht sehr dünn sein darf, wenn Körper von nur einiger Gröfse darauf gewogen werden sollen. Hiernach dürfte es rathsam seyn, die sehr zweckmäfsigen Fäden nicht über dem Rande des Wassergefäfses, sondern auf einem geeigneten Schwimmer auszuspannen, wobei es aufserdem noch leichter seyn würde, sie fortwährend gehörig straff zu erhalten.

Das *Stereometer*[1], welches Say ursprünglich erfunden und Leslie später empfohlen hat, verdient zwar wegen seiner sinnreichen Construction ungetheilten Beifall[2]; allein zugleich läfst sich nicht verkennen, dafs der Gebrauch desselben den bedeutendsten Schwierigkeiten unterliegt, weil kleine Unterschiede der gemessenen Gröfsen sehr grofse Verschiedenheiten des spec. Gewichtes geben, und es scheint mir daher fraglich, ob nicht ein anderes von Ventress[3] in Vorschlag gebrachtes Stereometer, gleichfalls zum Messen des spec. Gewichtes der Pulver

---

1 S. *Araeometer*. Bd. I. S. 395.

2 Die Verbesserung desselben, welche von einem Ungenannten in London and Edinburgh Phil. Mag. N. XXVII. p. 203. mitgetheilt ist, enthält nichts Neues.

3 Edinburgh Journ. of Science N. XIII. p. 143.

Digitized by Google

bestimmt, noch leichter und sicherer zum Ziele führt. Dasselbe besteht aus einem Gefäfse A, dessen Hals genau in die untere Fassung der Mefsröhre B luftdicht eingesteckt oder eingeschraubt werden kann, und damit die in dem erstern enthaltene Luft hierdurch keine Zusammendrückung erleide, ist seitwärts eine kleine, durch das Schräubchen p verschliefsbare Oeffnung angebracht, wodurch das Gleichgewicht mit der äufsern Luft hergestellt wird. Der Inhalt der Mefsröhre B ist genau so grofs, als der des Gefäfses A, beide bis an den Hahn k gerechnet. Ist daher das zu bestimmende Pulver in das Gefäfs A gebracht, die Mefsröhre B aber ganz mit Wasser gefüllt, werden dann beide verbunden und der Hahn geöffnet, so dringt so viel Wasser aus letzterer in ersteres ein, als der von Pulver nicht erfüllte Raum beträgt, die umgebende und in den Zwischenräumen enthaltene Luft steigt im Mefsgefäfse in die Höhe und die Scale giebt die Menge des herabgesunkenen Wassers an. Kennt man aber den ganzen Inhalt des Gefäfses an reinem Wasser dem Gewichte nach = p, enthält die Scale n Theile und steigt das Wasser nach dem Umkehren bis zum mten Theilstriche, so nimmt das Pulver $\frac{m}{n}$ p an Raum ein, welche Gröfse in das absolute Gewicht des Pulvers dividirt sein specifisches Gewicht giebt[1]. Die Idee ist zwar sinnreich, allein die Erfahrung müfste erst zeigen, ob die auf jeden Fall enge Oeffnung im Hahn alle Luft aufsteigen läfst, ob sie vollständig aus dem Pulver entweicht, indem viele Pulverarten sich im Wasser zusammenballen und die eingeschlossene Luft gröfstentheils zurückhalten, und ob also nicht durch diese und anderweitige Ursachen bedeutende Fehler herbeigeführt werden.

Fig. 309.

Einige Bemerkungen über die Scalen der in Frankreich bekanntesten Araeometer, die in einer Untersuchung dieses Gegenstandes von Marosbau[2] enthalten sind, erwähne ich nur der Vollständigkeit wegen im Vorbeigehn, da hierüber bereits im Art. *Araeometer* ausführlich gehandelt worden ist

---

1 Ich habe die Originalzeichnung etwas abgeändert, weil das Instrument so, wie es vom Erfinder dargestellt ist, gar kein Resultat geben kann.

2 Journ. de Pharmacie. T. XVI. p. 482.

Digitized by Google

und die Apparate mit festen Scalen, wie vollendet sie auch gemacht sind, die spec. Gewichte doch nicht mit einer der strengen Wissenschaft genügenden Genauigkeit anzugeben vermögen. Ferner hat Osann[1] auf einige bisher nicht beachtete Bedingungen aufmerksam gemacht, die bei der Erforschung des specifischen Gewichts der Körper durch Abwägen derselben in Wasser zu berücksichtigen sind, inzwischen mufs diese Sache erst weiter geprüft werden, ehe man Regeln danach festsetzt, die bei dieser Art von physikalischen Versuchen als gültig und unerläfslich erscheinen, zu welcher Prüfung jedoch hier der Ort nicht ist[2]. Endlich sind noch verschiedene, in den darüber mitgetheilten Tabellen enthaltene Bestimmungen des spec. Gewichts der Körper theils berichtigt, theils neu aufgefunden worden, es scheint mir aber nicht wichtig genug, alles dieses hier nachzutragen, da jene Tabellen ohnehin zunächst nur zur Bequemlichkeit einer schnellen Uebersicht dienen sollen. Wegen ihrer unmittelbaren Beziehung auf das Schwimmen verdienen jedoch die Versuche von Karmarsch[3] hier erwähnt zu werden, wodurch er das *specifische Gewicht* mehrerer Holzarten genauer, als bisher geschehn ist, zu bestimmen suchte. Die hierbei befolgte Methode bestand darin, dafs von vollkommen getrocknetem Holze Parallelepipeda verfertigt, genau gemessen, dann gewogen wurden, um aus ihrem Volumen und absolutem Gewichte das specifische zu finden, was vor dem Wägen im Wasser allerdings den Vorzug voraus hat, dafs der Einflufs des eingesogenen Wassers wegfällt. Die meisten erhaltenen Bestimmungen sind daher geringer als die gewöhnlichen, welches theils aus der Methode des Wägens, theils aus der abweichenden Beschaffenheit der untersuchten Stücke abzuleiten ist. Die gefundenen Werthe enthält nachstehende Tabelle.

---

1 Kastner Archiv. Th. II. Hft. 1 u. 2.

2 Osann will gefunden haben, dafs bei der Anwendung eines Homberg'schen Aräometers kleine Massen fester Körper ein geringeres spec. Gewicht zeigen, als gröfsere. Tünnermann findet die Thatsache nach seinen Versuchen richtig und leitet dieses aus der Adhäsion ab, vermöge deren die gröfsere Wassermenge im Gläschen dichter werden soll. S. Trommsdorff's N. Journ. d. Pharm. Bd. XXVI. Abth. 2. S. 93. Allein diese Ursache ist bei der geringen Zusammendrückbarkeit des Wassers sicher unzulässig.

3 Jahrbücher des polyt. Instituts in Wien. XVIII. S. 123.

Digitized by

Holzarten.	Spec. Gew.	Holzarten.	Spec. Gew.
Ahorn	0,645	Ceretti Quamara . .	1,032
Apfelbaum	0,734	Dowcalibalie	0,856
Birke	0,738	Ebenholz, grün . .	1,210
schwed. Birkenflader	0,799	— schwarz . .	1,187
Birnbaum	0,732	Grenadillenholz (braun)	0,973
Rothbuche	0,750	Braun Eisengrenad. .	1,185
Buchsbaum	0,942	Schwarz Eisengrenad.	1,283
Eibenbaum (Taxus) .	0,744	Jacaranda	0,908
Eiche	0,650	Königsholz	0,980
Erle	0,536	Lanzenholz	0,989
Esche	0,670	Luftholz (Purpurh.) .	0,917
anderes Muster .	0,669	Mahagoni (Cuba) . .	0,563
Föhre	0,763	— (Honduras)	0,604
Lärche	0,565	— (desgl. gestr.)	0,578
Linde	0,559	— (Domingo)	0,755
Nufsbaum	0,660	— (desgl.) . .	0,778
Oelbaum (Wurzel) .	0,676	— (desgl. gefl.)	0,820
Pappel	0,387	— (desgl.) . .	0,878
Pflaumenbaum . . .	0,872	— (africanisch)	0,945
Rostkastanie	0,551	Pockholz	1,263
Tanne	0,481	Rosenholz	1,031
Ulme	0,568	Satinholz	0,964
Weifsbuche	0,728	Vinhatica	1,037
Weifsdorn	0,871	Zebraholz	1,073
Ceder	0,575		

Verschiedene gehaltreiche Untersuchungen sind neuerdings angestellt worden, um das bekannte Verhalten zweier Körper, wonach sie durch Vereinigung eine Zusammenziehung oder auch Ausdehnung und hierdurch eine Veränderung ihres spec. Gewichts erleiden, mit dem quantitativen Verhältnisse der vereinten Atome in Uebereinstimmung zu bringen. Hierher gehört die Arbeit von Boullay[1], welcher für diesen Zweck zuvor die spec. Gewichte verschiedener Körper genauer bestimmte. Aus seinen Versuchen geht hervor, dafs bei der Verbindung von Schwefel mit Quecksilber, Blei, Arsenik, Antimon, Zinn und Eisen eine Zusammenziehung, dagegen von Iod mit Silber, Quecksilber, Blei und Kalium eine Ausdehnung erfolgt.

1 Ann. Chim. et Phys. T. XLIII. p. 266. Poggendorff's Ann. XIX. 107.

Digitized by Google

Die Versuche von Kupffer[1] beziehn sich auf die Verbindungen einiger Metalle und führen zu dem allgemeinen Resultate, dafs im Ganzen zwei Metalle nicht ohne Zusammenziehung oder Ausdehnung mit einander verbunden werden, doch scheinen gewisse quantitative Verhältnisse der beiden verbundenen statt zu finden, bei denen diese Volumensveränderung = 0 wird. Bei der Verbindung von Zinn und Blei fand allezeit Ausdehnung statt, die jedoch bei einer Verbindung von 2 Atomen Zinn auf 1 Atom Blei ihr Minimum erreicht und daher in der Nähe dieser Proportion vielleicht verschwindet. Das Amalgam aus Zinn und Quecksilber dagegen erleidet eine Zusammenziehung, welche jedoch bei 1 Atom Zinn auf 2 Atome Quecksilber verschwindet. Auch das aus Blei verfertigte Amalgama erleidet eine Zusammenziehung, die für 1 Blei und 3 Quecksilber am geringsten ist.

Körper, die an sich specifisch schwerer sind, als das Wasser, schwimmen in Folge mit ihnen verbundener oder von ihnen eingeschlossener leichterer Substanzen[2]. Beispiele dieser Art sind ungemein häufig, so dafs es genügt, nur einige derselben zur Erläuterung, andere zur Erklärung bekannter Apparate oder weil sich eine nützliche Anwendung von diesen machen läfst, namhaft anzuführen. Eine nicht ungewöhnliche Erscheinung ist, dafs Zucker, insbesondere von der gröbern Art, ins Wasser geworfen untersinkt, dann aber durch anhängende Luftbläschen, die entweder aus dem Wasser ausgeschieden werden, oder aus dem Innern hervordringen und auf der rauhen Oberfläche festsitzen, wieder empor kommt und diesen Wechsel oft mehrmals erneuert. Diesem ähnliche Erscheinungen sind, dafs im Wasser niedergesunkene Körper, sobald durch den Procefs der Gährung oder der Zersetzung eine bedeutende Menge Luft in ihrem Innern entwickelt wird, wieder emporkommen, wie dieses namentlich bei faulenden thierischen Körpern und einigen abwechselnd emporkommenden schwimmenden Inseln der Fall zu seyn pflegt. Dahin ge-

---

1 Ann. Chim. et Phys. T. XL. p. 285.

2 Untersuchungen über diesen Gegenstand findet man von Leibnitz in Miscellan. Berol. 1710. 4. p. 123. Hier erzählt Leibnitz unter andern, dafs ein eiserner Topf aus der Hofküche zu Hannover auf dem Wasser schwamm, was für ein Wunder gehalten wurde.

Digitized by Google

hört auch das Emporkommen der Ketten und Taue, die lange tief unter dem Wasser gelegen hatten, durch eine hinlänglich starke, sie umgebende Eishülle[1]. Dafs die Holzarten insgesammt eigentlich specifisch schwerer sind, als das Wasser, daher nur durch die in ihren Zwischenräumen eingeschlossene Luft schwimmen, dagegen mit einziger Ausnahme des Korkes untersinken, wenn diese Zwischenräume durch starken Druck mit Wasser erfüllt werden, ist bereits angegeben worden[2], auch pflegt man dieses in den physikalischen Vorlesungen anschaulich zu machen, indem man ein Stück Holz unter der Campane auf Wasser schwimmen läfst, welches aber nach wiederholtem Exantliren der Luft und Wiederzulassen derselben Wasser in seinen Poren aufnimmt und dann untersinkt. Die Veränderung des specifischen Gewichts und wie hierdurch bald ein Aufsteigen, bald ein Niedersinken und selbst ein Stillstehn hervorgebracht werden kann, pflegt man durch einen sehr bekannten Apparat, die *Cartesianischen Teufelchen* oder Cartesianischen Taucher (*Diaboli Cartesiani;* Diables Cartesiens, Plongeurs de Descartes; *Cartesian devils*), anschaulich zu machen. Dieses sind kleine, inwendig hohle, gläserne Puppen, meistens mit Klumpfüfsen, einer rothen Zunge und kleinen Hörnern, insbesondere mit einem krummgebogenen hohlen Schwanze, wodurch das im Innern derselben enthaltene Wasser mit dem in dem hohen cylindrischen Glase, worin sie schwimmen, communicirt. Sie werden entweder unter der Luftpumpe oder nur in einem geeigneten engen Glase im Wasser so eingetaucht, dafs durch Verdünnung der äufsern Luft die in ihrem Innern enthaltene nach und nach bis auf den genau geeigneten Theil entweicht, die äufsere aber nach dem Zulassen Wasser durch den Canal des Schwanzes hineintreibt, bis sie mit einem geringen Uebergewichte schwimmen, indem die Spitzen ihrer Hörner um eine oder anderthalb Linien über die Wasserfläche hervorragen. So werden sie in ihr eigentliches, nach Angabe der Zeichnung beträchtlich hohes Glas mit Wasser gethan und es wird eine Thierblase über dieses so festgebunden, dafs etwa 0,5 Zoll Luft unter dieser bleibt. Drückt man demnächst mit dem Finger die Blase nieder, so Fig. 310.

1 G. XXII. 332.

2 S. *Gewicht.* Bd. IV. S. 1539.

Digitized by Google

wird die Luft unter ihr und gleichzeitig der Rest der im Körper der Puppen noch eingeschlossenen Luft zusammengedrückt, es dringt etwas mehr Wasser ein, sie werden specifisch schwerer, schwimmen also nicht mehr, sondern sinken nieder, und auf diese Weise kann durch veränderten Druck ihr specifisches Gewicht so regulirt werden, dafs sie auf den Boden herabsinken oder oben schwimmen oder auch an jeder Stelle des Glases ruhend bleiben. Durch die Strömung des Wassers in und aus der Röhre des gekrümmten Schwanzes entsteht zugleich eine Umdrehung um ihre Axe, was jedoch blofs als eine hinzukommende Spielerei zu betrachten ist. Man verfertigt auch allerlei Figuren von Thieren aus Glas, die für sich untergehn aber an gläsernen Kugeln hängen, welche mit einer dem beschriebenen Schwanze ähnlichen hohlen Spitze versehn sind, wodurch das spec. Gewicht beider verbundener Körper auf gleiche Weise, als bei den genannten Puppen, regulirt werden kann. Auch die anatomischen, physiologischen, zoologischen und sonstigen Präparate, die in Weingeist aufgehoben werden müssen, für sich aber untergehn würden, werden auf die bekannte Weise durch eine an ihrem obern Theile befestigte hohle Glaskugel schwimmend erhalten.

Dafs der Mensch von mittlerer Beschaffenheit seines Körpers nicht statisch schwimme, aber auch nur mit einem geringen Uebergewichte untersinke, ist bereits gezeigt worden[1]. Weil aber das Uebergewicht nicht stets gleich, sondern namentlich bei mageren Individuen und solchen von starkem Körperbaue gröfser ist, bei etwas fetteren ganz wegfällt und dann bald die Unmöglichkeit eintritt, ohne ein gröfseres oder geringeres beschwerendes Gewicht im Wasser unterzusinken, so läfst sich auch die statische hebende Kraft des anzuwenden Schwimmapparates nicht mit Genauigkeit bestimmen. Nimmt man aber das spec. Gewicht des Menschen im Mittel dem des Wasser gleich an und wird zugleich berücksichtigt, dafs der Respiration wegen ein beträchtlicher Theil des Kopfes stets über dem Wasser erhalten werden mufs, so kann man mindestens zu einigen genäherten Resultaten gelangen. Im Allgemeinen ergiebt sich, dafs ein Mensch im Wasser, wenn

1 S. *Gewicht*, spec. d. Menschen. Bd. IV. S. 1578.

Digitized by Google

sich alle Theile des Körpers, mit Ausnahme der Respirationswerkzeuge, unter dem Wasser befinden und aufserdem die Lungen mit Luft erfüllt sind, nur einer geringen Unterstützung bedarf, um gegen das Untersinken gesichert zu seyn, dafs er sich daher leicht an einer dünnen Gerte oder selbst an etwas Schilf halten könne, wenn er nur nicht aus Aengstlichkeit strebt, einen zu grofsen Theil seines Körpers über dem Wasser zu erhalten. Wird aber angenommen, dafs der Theil des Körpers, welcher, des Athmens halber und um eine bequemere Lage beizubehalten, sich aufser dem Wasser befinden mufs, p ℔. betrage, ein Kubikfufs Flufswasser aber P ℔. wiege, so müfste der tragende Schwimmer $\frac{p}{P}$ Kubikfufs betragen, um das erforderliche Volumen Wasser aus der Stelle zu treiben. Ist das spec. Gewicht dieses Körpers aber $= \Pi$, so müfsten abermals $\frac{p}{P}\,\Pi$ Kubikfufs zugegeben werden, um dessen Gewicht zu tragen, und so fort, welches die unendliche Reihe $\frac{p}{P}\,(1 + \Pi + \Pi^2 + \Pi^3 + \ldots.)$ giebt, deren Summe ist $\frac{p}{P} \cdot \frac{1}{1-\Pi}$. Hiernach ist das Volumen des erforderlichen Schwimmers $V = \frac{p}{P} \cdot \frac{1}{1-\Pi}$.

Nicht sowohl zur Abwendung der Gefahr des Ertrinkens beim unerwarteten Hineinfallen ins Wasser, als vielmehr um längere Zeit darin zu schwimmen, wenn die hierzu erforderliche mechanische Anstrengung zu grofs für die vorhandenen Kräfte ist, hat man verschiedene Vorrichtungen erdacht, vermöge deren das spec. Gewicht des Menschen soviel verringert wird, dafs er nicht untersinken kann. Bei allen diesen Maschinen mufs aber hauptsächlich dafür gesorgt werden, dafs nicht blofs ein Theil des menschlichen Körpers, sondern gerade der Kopf, zur Erhaltung einer fortdauernden Respiration, über das Wasser hervorrage. Die einfachste Vorrichtung dieser Art, die ich angegeben gefunden habe, besteht in einem gewöhnlichen Mannshute, welcher unter den Arm so genommen, dafs die Oeffnung nach unten gekehrt bleibt, eine bedeutende Erleichterung geben mufs. Aufserdem wählt man wohl zwei grofse Thierblasen oder zwei aus auf einander ge-

legten Korkscheiben bestehende Kegel, die an beiden Enden eines Seiles befestigt werden, dessen Länge gerade hinreicht, um ein- oder etlichemal unter den Armen um die Brust gewunden diese leichten Körper in der Gegend der Schulterblätter festzuhalten. Vorschläge dieser Art geben unter andern Leupold[1] und Thevenot[2], mehrere der älteren beschreibt Bachstrom[3], verwirft sie aber und empfiehlt statt dessen eine Art Brustharnisch aus Parallelepipedis von Kork, die in Leinwand eingenäht und auf einer leinenen Weste befestigt wie ein Corset angezogen werden. Diesem ähnlich ist das Schwimmkleid (*Scaphander*), welches La Chapelle[4] in Vorschlag gebracht hat. Kessler's Wasserharnisch und Schwimmgürtel von Leder mit Luft aufgeblasen ist zu unsicher, Wagenseil's Wasserschild (*Hydraspis*) aber zu unbequem. Uebrigens ist die Aufgabe an sich leicht und unter andern wurde ein Skaphander aus Kapseln von gebranntem Leder nach Art eines Pferdekummets gestaltet in London mit gutem Erfolge probirt[5], auch erinnere ich mich gelesen zu haben, dafs man in Italien eine aus thierischen Häuten verfertigte, mit Luft aufgeblasene Art von Wurst unter den Armen mit Nutzen zum Passiren der Flüsse angewandt habe. Wären solche Häute sogleich biegsam und bleibend luftdicht, um sie blofs beim Gebrauche aufzublasen, nachher aber in einen geringen Raum zusammenzupacken, so würden sie, namentlich für militärische Zwecke, grofsen Gewinn versprechen. Einen vorgüglich brauchbaren Apparat verfertigte nach öffentlichen Blättern Pelt zu Kopenhagen und schwamm damit über den Sund. Derselbe bestand aus einem dicken Ringe von Segeltuch mit Korkschnitzeln gefüllt, welcher um die Hüften herumlag, während der Schwimmer auf einem sehr breiten und starken Bande aus Gurten, welches schlaff quer über dem Ringe befestigt war, als auf einem Sattel reitend die Füfse ins

---

1 Theatrum pontificiale. Tab. I bis III.

2 L'Art de nager avec des avis de se baigner utilement. à Paris 1781.

3 L'Art de nager cet. Amst. 1741. Die Kunst zu schwimmen u. s. w. Berlin 1742. 8.

4 Beschreibung eines Schwimmkleides. Aus d. Franz. Warschau 1776. 8.

5 Bibl. Britann. T. XXVII. p. 181.

Digitized by

Wasser eintauchte, den obern Theil des Körpers aber frei beweglich erhielt. An der Aufsenseite des Ringes hingen zwei Ruder an Haken, deren sich der Schwimmer bediente, und zugleich war im Schwimmgürtel ein Kasten für Lebensmittel und sonstige Bedürfnisse angebracht[1]. Später hat Hassler zu Imnitz einen ähnlichen Gürtel, jedoch weit unbequemer und schwerfälliger, in Vorschlag gebracht. Scheerboorn[2] zu Scheveningen machte einen noch weit ausgedehnteren Gebrauch von diesem Principe, indem er für sich und sein Pferd einen Skaphander von Kork verfertigte, damit durch einen Theil der See auf eine Sandbank ritt, wo viele Schiffe strandeten, und sogar glaubte, dafs man auf diese Weise den Schiffen Seile zuführen könne. Inzwischen wird dieses nur bei ruhiger See oder niedern Wellen möglich seyn, den stärkern Meereswellen aber auf diese Weise Widerstand zu leisten stets unmöglich bleiben; am meisten dürfte noch ein kräftiger Schwimmer mit einem geeigneten Skaphander auszurichten vermögen.

Zunächst an die beschriebenen Apparate lassen sich die aus einem mit Seehundsfellen überzogenen leichten hölzernen Gerippe bestehenden Kähne der Kamtschadalen, der Grönländer und der sonstigen Küstenbewohner der Polarmeere anreihen, die mitunter so klein sind, dafs sie gerade hinreichen, das ganze Gewicht des in ihnen eingeschlossenen Fischers zu tragen, letzteren über dem Wasser zu erhalten und ihm eine freie Beweglichkeit seiner Arme zu gestatten. Auch die Boote von Kork, die wegen der Leichtigkeit ihres Materials nicht untersinken können, daher von den Schiffen für den Fall eines Schiffbruchs zur Rettung der Menschen mitgenommen werden und aus diesem Grunde den Namen *Rettungsboote* (Lebensboote; *Life-boats*) erhalten haben, sind hierher zu rechnen. Der Bau derselben ist verschieden; diejenigen aber, welche meistens unter diesem Namen verstanden werden, sind längliche, aus Korkholz verfertigte oder damit bekleidete,

---

1 Einen ähnlichen Gürtel aus Leder, welcher durch eine vermittelst eines Korkes zu verstopfende Röhre aufgeblasen wurde, habe ich selbst gesehn; das Aufblasen ist jedoch zu gefährlich, weil leicht ein kleines Loch oder ein kleiner Rifs entstehn kann.

2 Bibliot. Ital. 1827. Giugno. p. 449.

wegen ihrer Gröfse nicht absolut leichte, aber in Folge ihres geringen specifischen Gewichtes gegen das Untersinken vollkommen gesicherte Boote, die Greathead[1] erfunden hat. Seitdem sind verschiedene Vorschläge zur Veränderung ihres Baues und zu ihrer Verbesserung gemacht worden[2], deren ausführliche Mittheilung hier zu weit führen würde. Im Jahre 1830 gab Lieutn. Cook[3] ein Verfahren an, wodurch jedes grofse oder kleine Boot auf eine leichte Weise in ein Rettungsboot verwandelt werden kann. Der Hauptsache nach beruht dieses darauf, dafs das ganze Boot mit einer an der innern Seite des obern Randes vermittelst Schrauben und übergelegter Stäbe befestigten Decke von Segeltuch überspannt wird, die dem Wasser das Eindringen in den Raum unmöglich macht, indem das von den überschlagenden Wellen aufgefangene durch geeignete Löcher wieder abfliefst. Für die Ruderer und die zu transportirenden Personen sind geeignete Säcke, welche unter die Decke herabgehn und zur Aufnahme der Beine dienen, angebracht, der äufsere Rand des Bootes aber wird mit einem Skaphander umgeben, welcher aus einer hinreichenden, in Segeltuch eingenähten Menge von Korkschnitzeln besteht, um die Tragkraft zu vermehren, das Anlegen an ein gescheitertes Schiff zu erleichtern und das Umschlagen unmöglich zu machen. Nach einem Berichte, welchen der Capitain des Schiffs Talavera, H. Pigot, der Admiralität in Folge der bei Deal angestellten Probeversuche ablegte, ist diese Einrichtung allerdings mit grofsem Nutzen anwendbar.

In den ältesten Zeiten pflegten die nicht cultivirten Völker auf geflochtenen Hürden über aufgeblasenen Säcken aus Ziegenfellen die Flüsse zu passiren und die Aegyptier fuhren den Nil herab auf leichten Flossen, die durch thönerne Gefäfse schwimmend erhalten wurden. Es lassen sich in dieser Beziehung auch die *Tonnen* oder *Baken* oder *Boyen* erwähnen, die an Ketten mit Ankern befestigt Plätze versunkener Schiffe

---

1 Eine Beschreibung derselben findet man in Bibl. Brit. T. XXIV. p. 270.

2 Z. B. von Gordon. S. Repertory of Arts, Manufact. and Sciences. 1824. Jun. p. 42.

3 Nach einer gedruckten öffentlichen Bekanntmachung.

oder Untiefen bezeichnen. Leck gewordene Schiffe werden gegen das Sinken gesichert, wenn die leeren Wassertonnen mit verschlossenem Spunte im untern Raume befestigt als künstliche Schwimmer dienen. Gestrandete Schiffe werden zuweilen dadurch wieder flott gemacht, dafs man leere Kasten und Gefäfse zur Zeit der Ebbe an ihren Seiten festnagelt. Schon um 1672 erleichterten die Holländer vermittelst solcher langen Kasten ihre tiefer gehenden Kauffahrtei-Schiffe, um sie aus dem Hafen von Amsterdam zu bringen; allein es zeigte sich, dafs die Schiffe hierdurch litten. Bakker beseitigte seit 1688 diesen Uebelstand durch die Anwendung der von ihm erfundenen sogenannten *Kameele* (Chameaux). Diese sind eine Art langer, überall wasserdicht verschlossener Kähne, so gestaltet, dafs sie sich zu beiden Seiten an den Rumpf der Schiffe anlegen, wo sie vermittelst der Anwendung von Tauen, die unter dem Kiele hergezogen sind, und festgekeilter Streben befestigt werden. Ihre Länge beträgt 127 Fufs, ihre Breite zwischen 13 bis 27 Fufs, sie sind aufserdem in einzelne Kammern abgetheilt, um das gehörige Gleichgewicht zu erhalten, und vermögen dann, wenn das in ihnen enthaltene Wasser ausgepumpt ist, die Tiefe des Einsinkens bei einem Indienfahrer von 15 Fufs auf 11 Fufs herabzubringen, um die seichte Stelle im Ausgange des Hafens zu passiren. Man bedient sich solcher Kameele seitdem aufser in Holland auch zu Venedig und in Rufsland, wo sie zuweilen die enorme Länge von 217 Fufs bei einer Breite von 36 Fufs haben[1].

Auf dem Principe, dafs specifisch schwerere Körper, als das Wasser, dennoch schwimmen, wenn ihr Volumen bedeutend vergröfsert wird und sie Luft oder sonstige leichtere Körper in ihrem innern Raume einschliefsen, gründet sich die Anwendung der Bouteillen, die verkorkt und verpicht in der See ausgeworfen werden, um die in ihnen eingeschlossenen Nachrichten irgendwo an eine Küste zu bringen, wohin sie endlich namentlich durch die Meeresströme gebracht werden, deren Richtung man auf diese Weise zugleich auszumitteln vermag. Eine Anwendung davon wird ferner bei der Construction derjenigen Maschinen gemacht, die nach dem An-

1 Leslie Elements of Nat. Philosophy. Edinb. 1823. T. I. p. 318. Vergl. Saverien Dict. de Math. et de Phys. Art. Chameau.

füllen mit explodirenden zerstörenden Stoffen mit einem nur geringen Uebergewichte schwimmen, daher nur einen kleinen, nicht leicht sichtbaren Theil aus dem Wasser hervorragen lassen und dann durch die Fluth in einen Hafen getrieben und nach dem Losschlagen eines Feuerschlosses im Innern entzündet durch die entstandene Explosion die feindlichen Schiffe zerstören[1]. Verschiedene Versuche, namentlich durch Foultox und die Gebrüder Coissin, sind ferner gemacht worden, hohle eiförmige Tonnen zu bauen und ihnen genau ein solches specifisches Gewicht zu geben, dafs sie nebst ihrem Inhalte nur mit einem geringen Uebergewichte schwimmen, in der Absicht, damit in ihnen eingeschlossene Menschen sich den feindlichen Schiffen unbemerkt nähern können[2]. Es ist mir jedoch nicht bekannt, dafs ein solcher Plan mit genügendem Erfolge jemals ausgeführt worden sey. Das nämliche Princip kommt auch in Anwendung bei den Pontons, die der Form nach den Kähnen ähnlich aus Holz oder aus Kupfer gemacht, auf Wagen transportirt, mit Haken und Seilen neben einander gebunden und mit Borden über geeigneten Balken bedeckt werden, um den Truppen zum Uebergange über Flüsse zu dienen[3]. Endlich bestehen auch die Schiffe, angenommen, dafs sie aus Eichen-Kernholz gebauet sind, aus lauter Körpern von gröfserem specifischen Gewichte, als das Wasser, und sinken daher, sobald ihr innerer Raum mit Wasser erfüllt ist, weswegen ihr Schwimmen blofs als eine Folge davon angesehen werden kann, dafs sie im Innern einen beträchtlich grofsen, mit Luft und andern zum Theil nicht beträchtlich specifisch schweren Körpern erfüllten Raum enthalten. Aus den einfachen hydrostatischen Gesetzen folgt, dafs man blofs

---

1 Eine solche Maschine brachte der nachher berühmte Admiral Lord Cochrane, damals Schiffslieutenant, mit noch einem Officiere und drei Matrosen in den Hafen von Boulogne, wobei aber ihr Kahn zugleich von der Fluth getrieben wurde, so dafs sie der gröfsten Gefahr nur durch eine Anstrengung entrannen, die dem zweiten Officiere das Leben kostete.

2 Bulletin de la Soc. d'Encour. Cah. 82. Archiv. des decouvertes. 1811.

3 Hoyer Verf. eines Handbuchs d. Pontonirwissensch. in Absicht ihrer Anwendung zum Feldgebrauch. III. Bd. Leipzig 1793. Vergl. Leupold Theatrum pontificiale. Leipz. 1726. fol. Tab. XLVIII. u. XLIX.

Digitized by Google

den Raum des Schiffes, welchen der untere Theil desselben bis zur Wasserlinie einnimmt, zu kubiren nöthig hat, dann aber dieses Volumen in Kubikschuhen ausgedrückt mit dem Gewichte eines Kubikfufses desjenigen Wassers multipliciren mufs, worin das Schiff schwimmen soll, um die gesammte Tragkraft desselben zu finden, wovon das Gewicht des Schiffes mit allem Zubehör abgezogen die Ladung desselben giebt. Dividirt man die Tragkraft desselben durch 2000, als dem Gewichte einer Tonne, so erhält man die Anzahl der Tonnen des Schiffes. Um aber die bisher vorgetragenen Grundsätze des Schwimmens richtiger und in gröfserem Umfange zu beurtheilen, mufs zuvor dasjenige näher untersucht werden, was man das Gleichgewicht der schwimmenden Körper nennt.

Gleichgewicht schwimmender Körper.

Wenn man berücksichtigt, dafs jeder Körper vermöge seiner Schwere in der Flüssigkeit niederzusinken strebt, das durch ihn verdrängte Volumen der Flüssigkeit aber mit seinem ganzen Gewichte diesem Niedersinken entgegenwirkt, so kommt für das Gleichgewicht dieser beiden einander in verticaler Richtung entgegenstrebenden Kräfte bei jeder willkürlichen Gestalt dieser beiden im Conflicte befindlichen Massen das ganze Problem des Gleichgewichts schwimmender Körper darauf hinaus, den gegebenen Körper durch eine Ebene so zu schneiden, dafs das Volumen des einen Segmentes des Körpers zum Ganzen in einem gewissen (durch das spec. Gewicht bedingten) Verhältnisse sey und dafs der Schwerpunct des ganzen Körpers und des abgeschnittenen Theiles (welcher das verdrängte Volumen der Flüssigkeit repräsentiren kann) in einer gemeinschaftlichen, auf die Schnittfläche lothrechten Linie liege. Die Ebene heifst dann die *Ebene des Schwimmens*, ihr Umfang die *Wasserlinie* oder die *Linie des Schwimmens*, die lothrechte Linie die *Linie der Unterstützung* und der Durchschnittspunct der durch beide Schwerpuncte gezogenen Linien, um welchen der schwimmende Körper bei entstehenden Bewegungen oscillirt, das *Metacentrum*.

Es sey, als sehr einfacher Fall, der schwimmende Körper ein rechtwinklig dreikantiges Prisma, welches so schwimmen mufs, dafs eine seiner Kanten im Wasser untertaucht. Weil hierbei die Länge nicht in Betrachtung kommt, da diese der

Annahme gemäfs auf das Einsinken keinen Einflufs hat, so
Fig. 311. stelle ABC einen verticalen Durchschnitt desselben vor und mn bezeichne die Grenze des Wasserspiegels. Der Kürze wegen wollen wir die den Winkeln A, B, C gegenüberstehenden Seiten durch a, b, c bezeichnen, die unbekannten Seiten Cn und Cm aber durch x und y, wonach dann der Flächeninhalt der beiden Dreiecke $ABC = \frac{1}{2}$ ab. Sin. C und $Cmn = \frac{1}{2}$ xy sin. C gefunden wird, und da der Inhalt des ganzen Prisma's sich zu dem des eingesunkenen Theiles verhält wie die beiden Grundflächen, so erhält man

$$mnC : ABC = s : 1,$$

wenn s das specifische Gewicht des Körpers zu dem des Wassers als Einheit bezeichnet. Setzt man also die obere Bezeichnung mit Weglassung des gemeinschaftlichen Factors in diese Proportion, so erhält man

$$xy : ab = s : 1; \text{ also } xy = sab. \ldots . (1$$

Es sey dann D der Halbirungspunct von AB und es werde aus diesem und dem Winkel C die Linie CD gezogen, DG aber sey $= \frac{1}{3}$ DC, so ist[1] G der Schwerpunct des Dreiecks ABC und auf gleiche Weise ist g der Schwerpunct des Dreiecks mnC. Die Linie Gg mufs also eine lothrechte seyn, wenn das schwimmende Prisma sich im Zustande des Gleichgewichts befinden soll. Da aber die Linien DG und kg den Linien DC und kC proportional sind, so ist die beide Enden verbindende Dk parallel zu Gg, und damit diese letztere auf mn lothrecht sey, müssen beide zusammenfallen, also Dm mufs Dn gleich werden. Es ist aber

$$(Dm)^2 = (CD)^2 + (Cm^2) - 2\,CD \,.\, Cm. \text{ Cos. } DCm,$$

also, wenn CD durch h, DCn durch α und DCm durch β bezeichnet werden,

$$(Dm)^2 = h^2 + y^2 - 2\,h\,y \text{ Cos. } \beta$$
$$(Dn)^2 = h^2 + x^2 - 2\,h\,x \text{ Cos. } \alpha$$

woraus folgt

$$y^2 - 2\,h\,y \text{ Cos. } \beta = x^2 - 2\,h\,x \text{ Cos. } \alpha \ldots\ldots . (2$$

Die beiden Gleichungen 1 und 2 dienen zur Lösung der Aufgabe. Die erste giebt

$$y = \frac{s\,a\,b}{x}$$

---

1 Vergl. *Schwerpunct* §. 10.

und diesen Werth in die zweite substituirt erhält man

$$\frac{s^2a^2b^2}{x^2} - \frac{2hs.ab}{x}\,\text{Cos.}\,\beta = x^2 - 2hx\,.\,\text{Cos.}\,\alpha$$

oder $x^4 - 2h\,\text{Cos.}\,\alpha\,.\,x^3 + 2hs.ab\,\text{Cos.}\,\beta.x - s^2a^2b^2 = 0 \ldots$ (3

eine Gleichung des vierten Grades zur Bestimmung von x, welches gefunden und in die Gleichung

$$y = \frac{sab}{x}$$

substituirt den Werth von y giebt. Ferner mufs die Gleichung 3), deren letztes Glied negativ ist, auch mindestens eine negative Wurzel haben, es bleiben also drei Wurzeln übrig, welches zeigt, dafs ein solcher Körper, wenn er nur mit einer Kante eintaucht, drei verschiedene Lagen haben kann, in denen den Bedingungen des Gleichgewichts Genüge geschieht.

Wäre das Prisma mit zwei Kanten untergetaucht, so folgte einfach $Cmn : CAB = 1-s : 1$ und die Gleichung 3) verwandelte sich in

$x^4 - 2h\,\text{Cos.}\,\alpha.\,x^3 + 2h(1-s)\,ab\,\text{Cos.}\,\alpha.x. - (1-s)^2a^2b^2 = 0 \ldots$ (4 Fig. 312.

Bei einem gleichseitigen dreikantigen Prisma wird die Rechnung weit einfacher, denn aus der Gleichung $xy = sab$ folgt für $a = b$ und $x = y$

$$x = a\sqrt{s} \quad \text{und} \quad x = a\sqrt{1-s}$$

für das Eintauchen mit der Kante und mit der Fläche. Ebendieses gilt für das gleichschenklige Dreieck, vorausgesetzt dafs der Winkel C, welcher der ungleichen Seite gegenüber liegt, eingetaucht sey. Diese Untersuchungen lassen sich noch weiter fortsetzen, insbesondere für ein gleichschenklig-dreikantiges Prisma; es genügt jedoch, im Allgemeinen die Bedingungen des Gleichgewichts, und wie sie zu finden sind, angegeben zu haben.

Wir wollen diese Gesetze sogleich auf das Schwimmen von Körpern, wobei es das gröfste Interesse hat, in Anwendung bringen. Es sey diesemnach ein Körper von willkürlicher Gestalt durch eine verticale Ebene CED in zwei an Gestalt und Dichtigkeit vollkommen gleiche Theile getheilt, Fig. 313. auch soll diese Ebene stets vertical bleiben, wenn auch der Körper seine Lage ändert und in dieser veränderten Lage keine neu hinzukommende Kraft auf ihn wirkt. Der Schwerpunct des Körpers selbst, ebenso wie der Schwerpunct der verdrängten Wassermasse (*centre of buoyancy*), mufs hiernach

gleichfalls in dieser Ebene liegen und in dieser auch bei veränderter Lage des Körpers bleiben. Es sey G der Schwerpunct des Körpers, O der Schwerpunct der verdrängten Wassermasse und AB diejenige Linie, in welcher das Niveau des Wassers diese Ebene schneidet, so ist die beide Schwerpuncte verbindende Linie GO lothrecht und perpendiculär auf AB, so lange der schwimmende Körper im permanenten Gleichgewichte sich befindend ruht.

Fig. 314. Der Körper werde dann geneigt, es sey AB die Linie des Niveaus, G bleibe unverändert und O′ sey der Schwerpunct der verdrängten Flüssigkeit, so wirkt die Schwere des Körpers in der verticalen Richtung GH das aufgehobene Gleichgewicht wieder herzustellen. Es ist aber die Resultante der in verticaler Richtung entgegendrückenden Flüssigkeit dem Gewichte der letzteren gleich und in der verticalen Richtung O′H′ wirkend. Diese Linie und die mit ihr in der nämlichen Ebene liegende GO schneiden einander in einem Puncte m, welcher das *Metacentrum* heifst und von dessen Lage in Beziehung auf den Schwerpunct G der Grad der Stabilität des schwimmenden Körpers abhängt. Es werde m als der Angriffspunct des Gegendrucks der Flüssigkeit, und zwar in der Richtung mH′ wirkend, angenommen, so läfst es sich so ansehen, als würde der Körper durch zwei parallele, an den Enden der Linie mO angebrachte, einander entgegenwirkende Kräfte bewegt, die ihn entweder nöthigen, seine vorige Lage wieder anzunehmen, oder in eine neue überzugehen. Da man beide parallele Kräfte als im Puncte G vereinigt betrachten kann, so läfst sich vorstellen, dafs dieser Punct zuerst der einen Kraft folgt und tiefer herabsinkt, bis die gröfsere Masse der verdrängten Flüssigkeit das Gleichgewicht hërstellt; aber auch dann wird die Bewegung in Folge der Trägheit fortdauern, ihre Geschwindigkeit aber abnehmen, bis zum Verschwinden, worauf dann ein Steigen erfolgt, bis auch hierdurch die gröfste Höhe erreicht ist. Die Gröfse dieser pendelartigen Oscillationen ist um so viel geringer, je kleiner der Unterschied zwischen dem Gewichte des Körpers und dem des verdrängten Wassers ist, und wenn diese Oscillationen nicht unter besondern Umständen sehr grofs sind, äufsern sie keinen Einfluſs auf die Veränderung des Gleichgewichts der schwimmenden Körper, können daher füglich vernachlässigt

Digitized by Google

werden, und es bleibt daher blofs die seitliche Bewegung zu untersuchen.

Bei dieser Oscillation wird die Lage des Schwerpunctes G unverändert bleiben, aber der blofse Anblick der Figur zeigt schon, dafs der Gegendruck der Flüssigkeit die Linie GO in eine verticale Richtung zu bringen streben müsse, wenn das Metacentrum oberhalb G in m liegt, dagegen aber, wenn dasselbe unterhalb G etwa in m′ liegt, also der Druck der Flüssigkeit m′H″ wirkt, mufs letzterer das Bestreben äufsern, die Linien GO noch mehr von der verticalen zu entfernen. Allgemeiner also kann gesagt werden: wenn das Metacentrum sich oberhalb des Schwerpunctes des eingetauchten Körpers befindet, so ist das Gleichgewicht des letzteren ein stabiles, wenn es sich aber unterhalb befindet, ein nicht stabiles, und wenn es sich in demselben befindet, so wird der Körper in jeder Lage ruhen, ohne das Bestreben zu äufsern, seine Lage zu ändern, in allen diesen Fällen vorausgesetzt, dafs die Ebene CED vertical bleibt.

Bringt man einen Körper von bekannter Gestalt in eine Lage, die nur wenig von der des Gleichgewichts abweicht, so ist es nicht schwer, die Lage des Metacentrums aufzufinden. Es sey ein solcher Körper ein horizontaler Cylinder mit zwei gleichen elliptischen Grundflächen, sein specifisches Gewicht sey = 0,5, das des Wassers = 1 gesetzt, und die eine der Axen seiner Grundflächen sey vertical, in welchem Falle die andere mit dem Spiegel der Flüssigkeit zusammenfallen mufs. Es werde die Linie E′D′ gezogen, die durch den Schwerpunct G geht und mit der Axe ED einen kleinen Winkel bildet; dann werde der Körper so geneigt, dafs die Linie E′D′ eine verticale Richtung erhalte, und die Lage des Eintauchens so weit verändert, dafs der Spiegel der Flüssigkeit mit der Linie A′B′ zusammenfällt, dann ist A′E′B′G′ der eingetauchte Theil der Flüssigkeit, den die Linie G′E′ in zwei ungleiche Hälften theilt. Der Schwerpunct der verdrängten Flüssigkeit mufs dann nothwendig irgendwo in dem gröfseren dieser Theile liegen; es sey in O′; so wird die mit E′D′ parallel gezogene Linie O′m die Lage des Metacentrums das einemal unterhalb, das anderemal oberhalb des Schwerpunctes angeben, in ersterem Falle demnach wird das Gleichgewicht ein nicht stabiles, im anderen aber ein stabiles seyn, und der Körper mufs also,

Fig. 315. u. 316.

Digitized by Google

wenn er um die horizontale Axe gedreht wird, welche die Mittelpuncte beider Grundflächen verbindet, zweimal in die Lage des stabilen und des nicht stabilen Gleichgewichts kommen.

Es würde zu weitläuftig seyn, diese Untersuchung auf alle Körper von beliebiger Form und gleichförmiger Dichtigkeit auszudehnen, weswegen es insbesondere wegen der Anwendung auf die Stabilität der Schiffe genügt, blofs einen symmetrischen Körper hinsichtlich einer durch seinen Schwerpunct gelegten verticalen Ebene zu berücksichtigen. Es sey, bei einer geringen Neigung des Körpers, a b die Durchschnittslinie der Ebene seines Schwimmens; G und O bezeichnen die Schwerpuncte des Körpers und der verdrängten Flüssigkeit, wenn A B in der Ebene des Wasserspiegels liegt. Zieht man die verticale Linie O V, so bezeichnet der Winkel G O V die Neigung des Körpers, welcher Winkel durch A ausgedrückt werden möge. Eine verticale Bewegung des Körpers bleibt als zu geringfügig unberücksichtigt, auch ist zwar nicht in ganzer Strenge richtig, kann aber ohne merklichen Fehler angenommen werden, dafs die aus dem Wasser gehobene Fläche A C a der eingetauchten B C b gleich ist und dafs beide gleichschenklige Dreiecke bilden, deren Scheitelpuncte in der Mitte der Linie A B oder a b liegen. Der Druck der Flüssigkeit, welcher die Fläche a F b zu heben strebt, ist dem Gewichte einer solchen Fläche gleich und wirkt in verticaler Richtung aufwärts gegen den Schwerpunct dieser Fläche. Um letzteren zu finden mufs man berücksichtigen, dafs a F b = A F B + B C b — A C a ist. Die Momente dieser Flüssigkeitsmassen in Beziehung auf die Verticale G′ i sind, wenn W das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit bezeichnet, zuerst für A F B = W G V, dann für B C b = w (B C b) q i, wenn C q = $\frac{2}{3}$ C b genommen wird und q das Ende der lothrechten Linie ist, die vom Schwerpuncte von B C b auf C b gefällt wird, und drittens endlich ist das Moment von A C a, wenn auf gleiche Weise verfahren und p statt q gesetzt wird, = w (A C a).p i, welches, als entgegengesetzt wirkend, negativ genommen, aber dann abgezogen wird. Hiernach ist also das Moment M des Wasserdruckes gegen a F b, da B C b = A C a ist, M = W × G V + w (B C b) p q. Da ferner die Flüssigkeit gleichartig ist, so sind die Flächen A F B und B C b den Quantitäten der verdrängten Flüssigkeiten porportional. Heifst also A F B = S,

Fig. 317.

und da CB = Cb ist, ferner der Winkel BCb = dem Winkel GOV = A, also Bc = CB. Sin. A und für einen so kleinen Winkel = CB. A, so ist die Dreiecksfläche BCb = ½ A. CB. CB, woraus die Proportion folgt:

$$S : W = \tfrac{1}{2} A . CB^2 : w\,(BCb) = \frac{W}{2S} A . BC^2.$$

Es ist aber in Gemäfsheit dessen, dafs der Schwerpunct bei einer Dreiecksfläche in der Entfernung von ⅔ der Höhe von der Spitze herab liegt, pq = ⅔ ab = ⅔ AB und GV = A. GO. Heifst daher der Kürze wegen GO = a und AB = b = 2BC, so wird dieses substituirt aus

$$M = W \times GV + w\,(BCb)\,pq$$
$$= A . W\,(a + \frac{b^3}{12S}) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1$$

Wenn also der Winkel A, welcher die Neigung des schwimmenden Körpers angiebt, als ein beständiger oder wenig veränderter erscheint, so erhält man für den Ausdruck der Stabilität desselben

$$W\,(\frac{b^3}{12S} \pm a) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2$$

und bei einem unregelmäfsigen Körper würde die Stabilität der Summe aller dieser Gröfsen proportional seyn. Unter Stabilität wäre nämlich der Widerstand zu verstehn, welchen der schwimmende Körper einer Aenderung seiner Lage entgegensetzt, oder die Kraft, womit er eine gewisse Lage anzunehmen strebt, beides in Folge des Wasserdruckes gegen ihn. Das Zeichen vor a ist dann positiv, wenn der Schwerpunct des ganzen Körpers unterhalb des Schwerpunctes der verdrängten Wassermasse liegt, im entgegengesetzten Falle aber negativ. Bei gleichartigen Massen mufs der Schwerpunct des ganzen Körpers nothwendig über dem der verdrängten Flüssigkeit liegen, bei Schiffen aber (mit Ausnahme der Kriegsschiffe) ereignet es sich zuweilen und wird wohl absichtlich erstrebt, dafs man die schwersten Substanzen tiefer herabbringt, damit der Schwerpunct des Schiffes mit seiner Ladung unterhalb dem des verdrängten Wassers zu liegen komme.

Die drei oben bereits angegebenen Fälle, wonach das Gleichgewicht entweder ein stabiles oder ein nicht stabiles oder überhaupt insofern nicht vorhanden ist, als der Körper

Digitized by Google

jede beliebige Lage annehmen kann, werden durch die letzte Gleichung ausgedrückt. Liegt der Schwerpunct des ganzen Körpers unter dem der verdrängten Flüssigkeit, so ist schon anderweitig klar, dafs dann ein stabiles Gleichgewicht vorhanden seyn mufs, und a ist positiv; liegt im Gegentheil der erstere über dem letztern, so ist a negativ, aber dennoch kann das Gleichgewicht stabil seyn, wenn $\frac{b^3}{12S}$ gröfser ist als a; ist dagegen a gröfser als $\frac{b^3}{12S}$, so ist das Gleichgewicht ein nicht stabiles, und endlich ist dasselbe gar nicht vorhanden, wenn beide Gröfsen gleich sind.

Wird die durch die letzte Formel ausgedrückte Gröfse im Verhältnifs zu dem Gewichte der aus der Stelle getriebenen Flüssigkeit genommen oder durch W dividirt, so giebt der Quotient den Abstand der verticalen Gi von der Resultante des aufwärts gerichteten Druckes dieses Flüssigkeit. Wird dieser Abstand gleich Gn genommen, so ist

$$Gn = \frac{b^3}{12S} \pm GV$$

und wenn man den Winkel der Neigung = A mit berücksichtigt,

$$Gn = \frac{Ab^3}{12S} \pm GV = A\left(\frac{b^3}{12S} \pm a'\right) \quad . \quad . \quad . \quad (3$$

Ist hierin a' positiv, so fällt Gi zur Linken des Schwerpunctes der verdrängten Flüssigkeit und Gn mufs rechts von Gi genommen werden. Eben-dieses findet statt, wenn a' negativ, aber kleiner als $\frac{b^3}{12S}$ ist, indem dann die verticale Linie gm die Linie GO in einem oberhalb G gelegnen Puncte m schneidet; ist aber $-a' = \frac{b^3}{12S}$, so wird $Gn = 0$ und der Punct m fällt mit G zusammen, und wenn endlich $-a'$ gröfser als $\frac{b^3}{12S}$ ist, so wird Gn negativ, G kommt höher zu liegen, als O, Gn fällt links von Gi und der Punct m fällt unterhalb G.

Um den Abstand des Punctes m von G zu finden, darf man nur berücksichtigen, dafs $Gm \cdot \text{Sin. } A = Gn$ ist, und

Digitized by Google

wenn man bei der Kleinheit des Winkels A diesen statt seines Sinus setzt, so wird $A.Gm = Gn$, also

$$Gm = \frac{b^3}{12\,S} \pm a'.$$

Hiernach ist, in Beziehung auf das Metacentrum m, die Stabilität eines schwimmenden Körpers positiv, neutral oder negativ, je nachdem das Metacentrum desselben über, in oder unter den Schwerpunct desselben fällt.

Es scheint mir nicht angemessen, diese Untersuchungen über die bisher mitgetheilten Elemente hinaus weiter fortzusetzen oder sogar die Construction und Belastung der Schiffe mit in den Bereich derselben zu ziehn, da sogar schon eine Anwendung auf Flufs- und Canalschiffe wegen der unbestimmten und zusammengesetzten Figur derselben allzuweitläuftig seyn würde. Eine leichte Anwendung des Gesagten kann aber auf die ungeheuren Eisblöcke gemacht werden, die in den Polarmeeren schwimmen. Wenn diese an einigen Stellen, hauptsächlich da, wo sie mit stets neu herbeiströmendem Wasser in der Nähe der Oberfläche desselben in Berührung sind, ungleich schnell wegschmelzen oder der Schnee sich auf den herausragenden Theilen anhäuft, so ändert sich der Schwerpunct der Masse und des verdrängten Wassers, mithin die Lage des Metacentrums, und wenn hiernach die Stabilität des Schwimmens bei ihnen von der positiven durch 0 zur negativen übergeht, so mufs der geringste Impuls sie zum Umschlagen bringen, was bei so enorm grofsen Massen mit einer wahrhaft ungeheuern Kraftäufserung verbunden ist. Hieraus entspringt eine grofse Gefahr für die Schiffe, selbst die gröfseren, sich ihnen zu nähern, die noch dadurch wächst, dafs sie bei einer nur geringen Höhe ihres Schwerpunctes über dem Metacentrum, wenn sie einmal umzuschlagen anfangen, diese Bewegung länger fortsetzen, indem sie durch dieselbe abwechselnd aus einem stabilen in ein unstabiles Gleichgewicht und umgekehrt übergehn.

Zur Auffindung des Metacentrums bei einem beladenen Schiffe kann ein leichtes Mittel angewendet werden, indem man dasselbe vermittelst eines in der Mitte des Verdecks befestigten langen, steifen und verhältnifsmäfsig nicht schweren Balkens um einen kleinen Winkel zur Seite biegt. Es sey NL dieser Balken, P ein an seinem Ende angebrachtes Ge- Fig. 318.

Digitized by Google

wicht, G der Schwerpunct des Schiffes, m das Metacentrum und G m Q der erzeugte Neigungswinkel, G R aber eine auf die verlängerte verticale L P gezogene gerade Linie. Die Kraft, womit das Gewicht P dem Schiffe eine schiefe Lage zu geben strebt, kann durch $P \times G R$ ausgedrückt werden, diejenige aber, welche gegen das Metacentrum ausgeübt wird, um der Linie N E wieder ihre verticale Richtung zu geben, durch $W . G Q$ oder $W \times G m . Sin. G m Q$, wenn W das Gewicht des Schiffes ausdrückt. Beide Gröfsen einander gleich gesetzt wird $P . G R = W . G m . Sin. G m Q$ und also G m oder die Höhe des Metacentrums über dem Schwerpuncte des Schiffes ist $Gm = \frac{P}{W} \cdot \frac{GR}{Sin. G m Q}$. Von diesen Gröfsen kann G R ohne merklichen Fehler = N L angenommen werden, der Winkel G n Q aber ist der Neigung der Stange N L unter die Horizontalfläche gleich, und da auch W und P bekannt sind, so ist somit G m gegeben. Wäre nach Leslie[1] diese Höhe = 3 Fufs 10,5 Zoll, so würde ein Gewicht von 0,002 des Tonnengehalts des Schiffes an einem Hebel von 50 Fufs eine Neigung des Schiffes von 5 Grad hervorbringen, wobei dann auf das eigene Gewicht der Stange N L noch Rücksicht zu nehmen wäre. Ist dann der Schwerpunct O der verdrängten Flüssigkeit bekannt, so kennt man auch die Gröfse des Abstandes O m. Auf gleiche Weise liefse sich auch die Lage des Metacentrums in einer durch die Länge des Schiffes gelegten verticalen Ebene finden, wenn man ungefähr aus der Mitte desselben einen Baum zuerst über das Vordertheil und dann über das Hintertheil hinaus richtete und mit gleichen Gewichten am überstehenden Ende belastete. Indefs würde es auch genügen, nur ein Gewicht am Vordertheile und dann ein gleiches am Hintertheile anzubringen, wobei der Abstand des in der Mitte liegenden Schwerpunctes der Gröfse beider Neigungswinkel umgekehrt proportional seyn würde[2].

---

1 Elements of nat. Phil. Edinb. 1823. T. I. p. 309.

2 Von der weitläuftigen, hierher gehörigen Literatur erwähne ich blofs Stevin, welcher die Aufgabe, wie hiernach die Schiffe erbauet werden müssen, zuerst untersuchte in Traité des Acrobariques. Oeuv. T. II. p. 512. Dan. Bernoulli in Comm. Acad. Pet. T. X. p. 147 ff. Hauptsächlich Bouguer Traité du Navire. Par. 1746. 4. p. 249.

Künstliches Schwimmen.

Das Schwimmen der lebenden Menschen und Thiere ist nicht durchaus ein statisches, vielmehr meistens ein mechanisches, indem sie sich künstlich durch einen Stofs gegen das Wasser vor dem Sinken schützen und ihre Bewegung nach Willkür bestimmen; der ganze Procefs ist also dem Wesen nach demjenigen ähnlich, wodurch das Fliegen geschieht. Ein wesentlicher Unterschied beider Operationen besteht indefs darin, dafs in dem fast achthundertmal schwereren Wasser sowohl Menschen als auch Thiere fast vollständig schwimmend erhalten werden und dafs diese Flüssigkeit nicht erst durch einen kräftigen Flügelschlag verdichtet werden mufs, sondern vermöge ihrer schon vorhandenen Dichtigkeit gegen jeden Stofs einen genügenden Widerstand leistet, um das vorhandene geringe Mehrgewicht zu compensiren. Eben hierdurch wird aber die ganze Untersuchung ausnehmend vereinfacht, und da es überflüssig seyn würde, in das Einzelne des hierher gehörigen technischen Verfahrens einzugehn, so werden einige allgemeine Bemerkungen für den vorliegenden Zweck genügen.

Bei denjenigen Fischen, die nicht mit einer Schwimmblase versehn sind, den sogenannten Bleifischen, ist das Schwimmen ein blofs mechanisches, indem sie durch gewisse Bewegungen ihres ganzen Körpers oder einzelner Theile desselben ihren Ort nach Willkür verändern. Ob bei den übri-

---

L. Euler Scientia navalis. Petrop. 1749. II Tom. 4. T. I. p. 1 ff. Bossut Traité élém. d'hydrodynamique. Par. 1771. II Tom. 8. T. I. §. 175. Du Hamel de Monceau Anfangsgründe der Schiffsbaukunst. Uebers. von C. G. D. Müller. Berl. 1791. 4. Hutchinson Seemanship and naval architecture. Lond. 1794. Braubach practisch-theoret. Handbuch zur Erlernung d. Manoeuvres u. d. Construction d. Seeschiffe. Bremen 1810. Dessen Beiträge zur Erweiterung d. Kenntnifs der Seewissenschaften. 1805 u. 1807. Poterat Théorie du navire. Par. 1826. II T. 4. Dann ferner die gröfsern Werke über die Hydrostatik, z. B. Barlow in Encyclop. metrop. Art. Hydrodynamics. Poisson Traité de mécanique. T. II. p. 389 ff. Eytelwein Handbuch der Hydrostatik. Berl. 1827. 1 T. 8. Vorzüglich instructiv sind die ausführlichen theoretischen Untersuchungen über die Stabilität der Schiffe von Atwood in Phil. Trans. 1798. und die zu ihrer Erläuterung später angestellten Versuche von Beautoy in Ann. of Phil. New Ser. T. VII. p. 82. Ueber die Construction d. Schiffe von der Linie s. Quarterl. Journ. of Science. N. Ser. N. XII. p. 220.

gen das Organ der Schwimmblase ausschliefslich oder selbst nur zunächst zur Regulirung ihres Schwimmens bestimmt sey[1], wird bei näherer Untersuchung zweifelhaft, so sehr auch auf den ersten Blick der Schein hierfür spricht; gewifs ist jedoch, dafs diese Fische das Vermögen besitzen, die Menge der in dieser Blase enthaltenen Luft zu vermehren oder zu vermindern, je nachdem bei gröfserer oder geringerer Tiefe des Wassers, worin sie sich aufhalten, ein stärkerer oder schwächerer äufserer Druck gegen ihren Körper statt findet. Hieraus wird die merkwürdige Beobachtung von Biot[2] erklärlich, dafs bei manchen Fischen, wenn sie schnell aus einer grofsen Tiefe, von 100 Metern und darüber, heraufgezogen werden, die Blase einen Theil des Magens und der Eingeweide fortstöfst und in ihr Maul hervortritt. An der spanischen Küste in der Umgebung der Insel Iviça zeigte sich diese anfangs unglaubliche Erscheinung so häufig, dafs sich die Thatsache auf keine Weise bezweifeln läfst. Die übrigen Bewegungen bei ihrem Schwimmen werden durch Drehungen ihres Körpers, hauptsächlich durch Schläge mit ihrem Schwanze und mit den Flossen bewirkt.

Im Ganzen schwimmen die meisten Landthiere gut und leicht, aber es ist wohl gewifs, dafs ihr Schwimmen an sich ein statisches und kein eigentlich mechanisches sey, indem die Bewegungen, die sie mit den Füfsen machen, nicht sowohl dazu dienen, sie gegen das Untersinken zu schützen, als vielmehr sie blofs vorwärts zu bewegen. Man hat oft die Frage aufgeworfen, wie es zugehe, dafs die Thiere leichter schwimmen, als die Menschen[3], und Nicholson[4] findet die Gründe, die man hierfür angegeben hat, ungenügend, nämlich dafs die Regsamkeit des Geistes den Menschen verhindere, sich in einer so ungewohnten Lage zu erhalten, da die Thiere diejenigen Bewegungen und in derselben Lage fortsetzten, an die sie auf dem Lande gewöhnt seyen. Die Sache scheint mir jedoch weit näher zu liegen, als wo man sie gewöhnlich sucht. Der Hauptgrund, weswegen die Thiere leichter schwim-

---

1 Gotthelf Fischer's Versuch über d. Schwimmblase d. Fische. Leipz. 1795. 8.

2 G. XXVI. 466.

3 S. Bazin im Hamburger Magaz. Th. I. S. 327.

4 G. XXXIV. 28.

men, als der Mensch, und ohne Erlernung künstlicher Bewegungen von selbst schwimmen, ist kein anderer, als weil ihr specifisches Gewicht dem das Wassers nicht gleich kommt[1]. Ein augenfälliger Beweis hiervon scheint mir durch eine Menge alltägiger Erfahrungen gegeben zu werden. Ein Pferd z. B. kann in das Wasser getrieben werden und wenn es in stets tiefern Stellen fortgeht, so erfolgt sein Schwimmen von selbst, indem die fortgesetzte Bewegung seiner Füfse blofs dazu dient, um vorwärts zu kommen. Hierzu kommt die grofse Erleichterung, welche der Bau der Thiere darbietet; ihr Leib ist der leichtere Theil, die schwerern Füfse sinken unter, und so kommen sie statisch in die geeignetste Lage, wobei ohnehin ihr ganzer Körper untergetaucht seyn kann, die Respirationswerkzeuge aber nebst einem sehr geringen Theile des Kopfes sich über Wasser befinden. Ohne allen Einflufs ist übrigens ihre gröbere Organisation dabei nicht, so wie das auf Instinct und fortdauernder Gewöhnung beruhende Streben nach Erhaltung des Lebens und Abwehrung von Gefahren, wobei sie ohne den Einflufs einer erregten Phantasie die geeignetsten Mittel in Anwendung zu bringen erlernt haben. Insofern man übrigens meistens das Schwimmen der Thiere mit dem der Menschen zur Vergleichung neben einander stellt, so wird die Sache dadurch klarer, wenn man das letztere näher betrachtet.

Das Schwimmen der Menschen ist zu allenZeiten mit Aufmerksamkeit berücksichtigt worden, indem bei jedem Grade der Cultur theils das Bedürfnifs Flüsse zu passiren, theils die Sorge für Abwendung möglicher Lebensgefahr dieser Fertigkeit eine hohe Bedeutsamkeit verschafften. Die Kunst des Schwimmens beruhte jedoch auf blofser Erfahrung und dadurch erlangter Uebung, bis man in neuern Zeiten anfing, die dabei zu berücksichtigenden statischen und mechanischen Gesetze näher zu untersuchen. Hierbei ist es allerdings ein merkwürdiger Umstand, dafs die meisten absichtlich angestellten Untersuchungen das spec. Gewicht des Menschen geringer als das des Wassers angeben, wonach das Schwimmen desselben ein natürliches und nothwendig erfolgendes seyn würde. Die Unrichtigkeit dieser Behauptung ist indefs schon oben[2] erwähnt

1 S. Borelli de Motu Animalium. Prop. 217.
2 S. *Gewicht*, spec. Bd. IV. S. 1577.

worden und es möge hier nur noch hinzugefügt werden, dafs auch Wilkenson[1] bei seinen Versuchen einem Menschen von 104 ℔. absolutem Gewichte noch 12 Unzen 5 Drachm. 2 Scrup. Korkholz zulegen mufste, um sein spec. Gewicht dem des Wassers gleich zu machen. Ein sehr genügendes und die Sache ausnehmend erläuterndes Zeugnifs hierüber giebt James Horsbourgh[2], indem er erzählt, dafs er zwei seiner Freunde, beide gute Schwimmer, den Versuch machen liefs, ob sie ruhig und ohne alle Bewegung auf dem Wasser liegend untersänken. Beide legten sich auf den Rücken und vermieden dann sorgfältig jede Bewegung; der eine derselben, der geübteste im Schwimmen, klein von Natur, aber kraftvoll und athletisch, sank stets tiefer und kam zuletzt ganz unter die Oberfläche des Wassers, wenn er nicht zuweilen eine Bewegung mit den Händen oder Füfsen machte, der andere, von zarter Constitution und schwächlich, schwamm statisch so, dafs die Zehen, die Kniee, ein Theil der Schultern und des Kopfes aus dem Wasser hervorstanden. Horsbourgh selbst war in einem solchen Grade specifisch leichter als Seewasser, dafs er oft eine geraume Zeit, bis zu einer halben Stunde, auf dem Rücken ohne alle Bewegung ruhte und dabei eine Neigung zum Schlafen fühlte, der er jedoch nachzugeben Bedenken trug, ja er ging einmal ganz angekleidet in die See und konnte sich dann ohne die geringste Beschwerde dort entkleiden[3].

Indem aus allen diesen Betrachtungen hervorgeht, dafs viele Menschen und fast die Mehrzahl derselben so lange, als sie die eingeathmete Luft in den Lungen zurückhalten, entweder statisch schwimmen oder mindestens durch einige wenige Bewegung der Hände oder Füfse oder beider zugleich

---

1 Phil. Trans. T. LV. p. 103.

2 G. XXXIV. 54.

3 Dafs das geringe spec. Gewicht des menschlichen Körpers hauptsächlich durch die Räume im Bauche und in der Brust bedingt werde, geht evident daraus hervor, dafs alle einzelne Theile, aufser dem Fette, specifisch schwerer und mitunter nicht unbedeutend schwerer sind, als das Wasser. Eine Menge Bestimmungen der spec. Gewichte der einzelnen Theile des menschlichen Körpers bei verschiedenen Individuen von Sömmerring, Meckel, insbesondere Joux Davy (in Trans. of the Medico-Chir. Soc. at Edinb. T. III. von 1829.) und von Fricke (aus einer Dissert. Freiburg 1832) findet man in Edinb. Phil. Journ. New Ser. N. XXIX. p. 159.

sich auf der Oberfläche des Wassers erhalten können, so mufs es höchst auffallend erscheinen, dafs nur mit seltenen Ausnahmen alle diejenigen, die in der Kunst des Schwimmens nicht geübt ins Wasser fallen, untergehn und ertrinken. Man kann hiernach kaum umhin, mit Horsbourgh anzunehmen, dafs die Menschen in der Regel durch verkehrte Bewegungen ihr Untersinken selbst herbeiführen oder mindestens befördern. Für diese anscheinend paradoxe Behauptung scheinen mir folgende interessante Thatsachen zu sprechen. Der bekannte B. Franklin, ein ausgezeichnet geübter Schwimmer, giebt folgende Vorschrift, um ohne weitere Anweisung mit Leichtigkeit das Schwimmen von selbst zu erlernen[1]. An einem Orte, wo das Wasser allmälig tiefer wird, soll man so weit als möglich fortgehn, sich dann gegen das Ufer hin gerichtet aufrecht hinstellen und ein Ei vor sich ins Wasser werfen, so tief, dafs man es ohne unterzutauchen nicht erreichen kann. Man soll dann, gestärkt durch die Vorstellung, dafs man dem seichtern Wasser entgegenkomme und durch Aufrichten jeder Gefahr entgehe, sich bemühn, so tief unter das Wasser zu tauchen, bis man das Ei ergriffen habe, so wird hierdurch die Kunst, sich durch geeignete Bewegungen über dem Wasser zu erhalten, von selbst erlernt werden. Nicholson findet diese Anweisung unbegreiflich und sie schliefst allerdings die paradoxe Regel ein, dafs man sich bestreben soll, unter das Wasser zu kommen, um hierdurch vermittelst sofortiger praktischer Anwendung die Mittel kennen zu lernen, wodurch man sich über demselben erhält, indefs scheint mir eine andere Bemerkung dieses Räthsel zu lösen. Der bekannte v. Horner konnte seiner langen Seereisen ungeachtet nicht schwimmen und erzählte mir, dafs er zweimal scheintodt aus dem Wasser gehoben und wieder belebt wurde; bei beiden Malen erinnerte er sich aber sehr wohl, dafs er anfangs sich möglichst bemüht habe, sich aus dem Wasser empor zu arbeiten, beidemal aber war sein Kopf, statt dafs er ihn nach oben gerichtet glaubte, vielmehr nach unten gerichtet und er arbeitete sich daher selbst stets tiefer unter das Wasser. Vereinigen wir die Aussagen der beiden genannten, gleich glaub-

1 Aus einem Briefe desselben von Nicholson erzählt. S. Gilbert a. a. O.

würdigen und berühmten Gelehrten, so geht daraus mit gröfster Wahrscheinlichkeit hervor, dafs die kunstlosen Anstrengungen, sich aus dem Wasser empor zu arbeiten, wegen der ungewohnten Lage und darum, weil bei dem gröfsern Gewichte des Kopfes als der Füfse die Unterstützung nicht von den letztern, wie auf dem Lande, ausgehn kann, gerade die entgegengesetzte Wirkung haben, wie dieses bei v. Horner der Fall war, statt dafs eben das Bestreben, dieses Entgegengesetzte zu erzeugen, zum geraden Ziele führt.

Hiermit genau übereinstimmend sind die Regeln, die Oronzio de' Bernardi[1] für diejenigen angiebt, die zufällig ins Wasser fallen; denn obgleich er bei allen seinen Vorschriften, die obendrein durch ihre Weitschweifigkeit an Werth sehr verlieren, von dem falschen Grundsatze ausgeht, dafs alle Menschen specifisch leichter sind, als das Wasser, so ist seine Praxis doch so ausnehmend grofs, dafs man sich auf die hieraus entnommenen Angaben mit voller Sicherheit verlassen kann. Als Hauptregel gilt ihm, dafs man *beim Herabfallen ins Wasser gar keine Bewegung mache*, sondern sich ganz der Natur überlasse. Eine Hauptsache ist ferner, Nase und Mund fest zu verschliefsen und den Athem, besonders wenn man eingeathmet hat, so lange anzuhalten, bis der Körper wieder empor kommt. So wenig übrigens unter solchen Verhältnissen auf gehörige Besonnenheit zu rechnen ist, so scheint mir doch eben die gänzliche Unthätigkeit dasjenige, was noch am leichtesten durch Willensthätigkeit zu erreichen wäre, und man würde daher auch am leichtesten das Anhalten des Athems in Ausübung bringen können. Verhält sich der Mensch beim Hineinfallen ins Wasser ganz ruhig, so kommt er allezeit wieder in die Höhe, und da Bauch und Brust die eigentlich schwimmenden Theile sind, so kommt der Kopf wenigstens auf einige Zeit über das Wasser und ein starkes Einathmen in diesem Augenblicke kann eine solche Leichtigkeit erzeugen, dafs ein statisches Schwimmen mit dem Herausragen der Respirationswerkzeuge eintritt. Den Kopf mufs man auf jeden Fall gerade halten, besser aber noch ist es ihn zurückzubeu-

---

1 L'Uomo galleggiante cet. dal Dottore di leggi Oronzio de' Bernardi cet. In Napoli 1792. II T. 4. mit 18 Ktfln. Ueb. von Kaiss. Weimar 1797. 1 T. 8. mit 12 Ktfln. S. 232.

Digitized by Google

gen, was besonders dann rathsam ist, wenn derselbe über das Wasser emporkommt. Bernardi giebt auch an, dafs man wohl thue, wenn man die Arme in horizontaler Richtung ausstrecke, weil auf diese Weise Agnello Commentale sich schwimmend erhielt, als er in den Scafato fiel. Diese Regel scheint zwar blofs von einem einzelnen Falle entlehnt zu seyn und also keine allgemeine Anwendung zu leiden, es geht jedoch aus den später zu erwähnenden Untersuchungen von Horsbourgh hervor, dafs diese Vorschrift anderweitig das Schwimmen sehr erleichtert. Es ist daher räthlich, wenn die Besinnung dazu vorhanden ist, diese einfache Regel in Anwendung zu bringen, oder gar keine Bewegung zu machen, Hände und Füfse herabhängen zu lassen, den Athem anzuhalten und den Kopf etwas zurückzubeugen, weil man hierdurch meistens auf den Rücken zu liegen kommt, in welcher Lage das Schwimmen überhaupt am leichtesten ist. Auch Franklin[1] behauptet, dafs jeder Mensch auf dem Rücken liegend vom Seewasser so weit getragen werde, dafs seine Respirationswerkzeuge hervorragen, im Flufswasser dagegen (was ungefähr $\frac{1}{10}$ leichter ist) sinken die Beine allmälig unter, der Mensch erhält dann eine aufrechte Stellung, wenn er jede Bewegung vermeidet, sinkt bis über die Nase, selbst bis an die Augen unter, kann aber durch Zurückbeugung des Kopfes die Nasenlöcher wieder frei machen und wird dann nach starkem Einathmen statisch schwimmen. Wie nöthig es sey, dafs alle Theile des menschlichen Körpers, mit Ausnahme der Respirationswerkzeuge, unter Wasser gehalten werden, damit jenen der hydrostatische Druck des Wassers entgegenwirke und diese daher über der Oberfläche bleiben, zeigt Nicholson durch das Beispiel, dafs einer von der Mannschaft eines Schiffes auf dem Ganges in den streng fliefsenden Flufs fiel und mit dem Kopfe über das Wasser hervorragte, bis er die Hände in die Höhe hob und sofort nach einigem Plätschern zu sinken anfing. Er kam jedoch wieder empor und ein Offizier rief ihm zu, er solle die Hände unter Wasser halten, worauf er eine bedeutende Strecke weiter schwamm. Weil es aber lange dauerte, bis das herabgelassene Boot ihn einholte, streckte er noch etliche Male die Hände heraus, um sich zu helfen,

1 G. XXXIV. 32.

sank aber jederzeit dabei unter und kam nach dem Herabsenken derselben wieder empor, bis er endlich herausgezogen wurde. Nicholson giebt übrigens den Rath, wenn der Mensch nach dem Sinken wieder empor gekommen ist, die Hände, aber unter dem Wasser zu bewegen, weil er dann sich so viel erleichtert, dafs seine Respirationswerkzeuge frei bleiben, noch nützlicher aber sind die Bewegungen der Beine von der Art, als wollte man eine Treppe hinaufsteigen.

Die hier mitgetheilten Angaben scheinen sehr aus der Natur der Sache hergenommen zu seyn und sie enthalten vermuthlich den Grund, warum Kinder, die keine Gefahr ahnen, und solche, die sich absichtlich ertränken wollen, nicht selten auf dem Wasser schwimmen und gerettet werden; aber das Bestreben, vermittelst der Hände den sinkenden Körper zu unterstützen, ist bei allen mehr erwachsenen Personen durch langjährige Gewohnheit auf dem Lande gleichsam zur andern Natur geworden und wird daher im Wasser nur durch besonnene Ueberlegung vermieden. Kinder müssen wegen der gröfsern Weichheit und der hieraus folgenden geringern Dichtigkeit der Theile ihres Körpers leichter schwimmen als Erwachsene und ich erinnere mich gelesen zu haben, dafs Seefahrer einst sahen, wie das Boot, worin eine Familie von Südsee-Insulanern nebst ihren Habseligkeiten fuhr, unerwartet umschlug und die Eltern dann die Kinder so lange auf den Rücken auf das Wasser legten, bis das Boot mit den übrigen Sachen wieder in Ordnung gebracht war. Indefs pflegen die auf Kähnen lebenden Chinesen ihren Kindern ausgehöhlte Kürbisse auf die Schultern zu binden, um sie gegen das Ertrinken zu sichern.

Horsbourgh fügt noch einige interessante Bemerkungen über die Lage des menschlichen Körpers hinzu, wenn solche Personen, die natürlich schwimmen, wie dieses bei ihm der Fall war, sich ganz dem Wasser überlassen. Legte er bei ganz ruhiger See die Hände kreuzweise über die Brust, ohne einen Theil seines Körpers zu bewegen, so kam sein Körper bald in eine verticale Lage und sank zuweilen so tief, dafs die Nase unter das Wasser kam, allein bald wurde das Gesicht wieder frei und sein Körper kam in die natürlichste Lage des Schwimmens, nämlich auf den Rücken; doch kehrte die verticale Stellung wieder zurück und dieser Wechsel wieder-

Digitized by Google

holte sich mehrmals. Ebendiese Drehungen erfolgten, wenn er die Hände an der Seite gerade herabhängen liefs. Hielt er die Arme senkrecht vom Körper abwärts, so hinderten sie solche Drehungen und der Körper blieb in seiner natürlichen Lage, doch sanken die Füfse zuweilen etwas tiefer unter das Wasser; streckte er aber die Arme über den Kopf hinaus, so wurde die horizontale Lage des Körpers dauernd erhalten.

Eine eigne Kunst, die manche sehr geschickte Schwimmer üben, ist die des sogenannten *Wassertretens*. Dieses geschieht durch wiederholte, schnell auf einander folgende Stöfse mit den Füfsen gegen das Wasser, wodurch der Körper zurückgehalten wird, nicht tiefer, als bis zur Mitte des Leibes, im Wasser herabzusinken. Erfolgen diese kurzen Stöfse schnell genug auf einander, so scheinen solche Künstler im Wasser zu stehn, insbesondere, wenn man sie aus einiger Entfernung betrachtet. Aufserdem erzeugt anhaltende Uebung eine unglaubliche Fertigkeit im Schwimmen, die man meistens bei den Bewohnern der Meeresküste findet. Horsbourgh erzählt von sich, dafs er einst bei Madras durch die Brandung geschwommen sey, die dort so stark ist, dafs die Boote der Schiffe nicht landen können; doch hätte ihm dieses beinahe das Leben gekostet, weil er allzuoft untertauchen mufste, um den mächtigen Wellen auszuweichen. Das Schwimmen durch die Brandung dürfte übrigens eins der gefährlichsten Probestücke seyn, weil es kaum möglich ist, durch die überschlagenden Wellen nicht zu lange unter dem Wasser gehalten oder durch den Andrang der Wogen gegen das felsige Ufer geschleudert zu werden. Inzwischen erzählt auch Cook, dafs er einst von einem felsigen Ufer herab zwei Indianer gesehn habe, die zum Spiele einen schwimmenden Balken an beiden Enden ergriffen, mit ihm allerlei Bewegungen machten und sich gemeinschaftlich durch die brandenden Wellen fortreifsen liefsen, dann aber sich schnell vom Balken trennten und unter der tobenden Welle hin durch Untertauchen entrannen, während der Balken gegen den Fels geschleudert und dann ihnen wieder zugeführt wurde, worauf sie das Spiel abermals mit ihm begannen. Was aber von der unglaublichen Schwimmkunst und dem erstaunlich anhaltenden Untertauchen eines gewissen Cola erzählt wird, der eben deswegen den Zunamen

Digitized by Google

Pesce (Fisch) erhielt und den bereits Kircher[1] erwähnt, gehört gröfstentheils in das Gebiet der Fabeln. Die geübtesten *Taucher* sind ohne Widerrede die Perlenfischer. Die zu Carrac am persischen Meerbusen, wo die meisten und gröfsten Perlen gefunden werden, tauchen 60 bis 90 engl. Fufs unter, ja eine sehr kostbare Perle ward auf 114 F. Tiefe heraufgeholt. Die Taucher führen während der Arbeit eine magere Diät, bringen Oel in ihre Ohren, bedecken die Nase mit einem Futterale von Horn, halten sich in der Zwischenzeit nicht lange an der Luft auf und bleiben bis 5 Minuten unter Wasser. Sie werden nicht alt und leiden hauptsächlich an Geschwüren und Augenentzündungen[2].

Beispiele von Menschen, insbesondere von Kindern, die ins Wasser fielen und ohne künstliches Schwimmen blofs dadurch gerettet wurden, dafs sie sich völlig leidend verhielten, sind nicht ganz selten, werden aber nicht leicht in wissenschaftlichen Werken aufbewahrt. Einige höchst merkwürdige erzählt jedoch Oronzio de' Bernardi[3] mit so specieller Beibringung aller begleitenden Umstände, dafs man die Wahrheit nicht wohl in Zweifel ziehn kann. Unter andern fiel zu Terlizzi ein Knabe von wenigen Jahren in einen sehr tiefen Teich, und weil die ihm zur Wartung mitgegebene fünfjährige Schwester sich weinend auf die Erde warf, so dauerte es fast eine Stunde, bis die Mutter an einem Stricke festgebunden ihn herausholte, der während dieser ganzen Zeit auf dem Rücken lag und mit seinen Händen die Wasserlinsen von der Oberfläche des Wassers zurücktrieb. Noch merkwürdiger ist, dafs an demselben Orte der nachmalige Canonicus Michele de Palo als fünfjähriger Knabe, beim Bemühn, den Eimer zu erlangen, in einen tiefen Brunnen stürzte. Es kam ihm vor, als habe der Brunnen sich ganz umgedreht, indefs fand er sich bald im Wasser mit hervorragendem Kopfe schwimmend und es kam ihm dann der Gedanke, dafs seine

---

1 Mund. Subterr. T. I. p. 97. Auch Bernardi erzählt viel Wunderbares von ihm. Interessant dargestellt findet man die Erzählungen über ihn in der englischen Zeitschrift: The Spectator.

2 J. Morier's Reise durch Persien u. s. w. D. Uebers. Weimar 1814. p. 43.

3 In seiner genannten Schrift S. 198.

Digitized by Google

Kameraden ihn nicht finden könnten, weil er sich so trefflich versteckt habe; nachher fing er aber an zu rufen und wurde durch einen geübten Schwimmer heraufgeholt. Ein anderer Knabe von ungefähr gleichem Alter fiel zu Molfetta gleichfalls in einen Brunnen, was zwar sogleich bemerkt wurde, allein es mufste erst ein Seil gesucht werden, das er sich selbst um den Leib band, um daran emporgezogen zu werden, und während dieser ganzen Zeit schwamm er statisch mit über Wasser stehendem Kopfe. Agnello Commentale schlug einst mit einem Nachen auf dem Scafato um, hatte aber die Besonnenheit, sich an Bernardi's ihm bekannte Regel zu erinnern, weswegen er sich ganz ruhig hielt und blofs beide Arme ausstreckte, in dieser Lage dann nicht untersank, sondern von seinem Begleiter, welcher ein guter Schwimmer war, durch wiederholte kleine Stöfse ans Ufer getrieben wurde. In öffentlichen Blättern erinnere ich mich einigemal gelesen zu haben, dafs kleine Kinder, die namentlich in Mühlgräben fielen, eine beträchtliche Strecke auf dem Rücken liegend fortschwammen und dann gerettet wurden, was man als Folge eines besondern Schutzes der Vorsehung betrachtete; auch weifs ich, dafs ein erwachsenes Mädchen sich absichtlich in einen schnellfliefsenden tiefen Flufs stürzte, aber von selbst auf den Rücken zu liegen kam und so bei vollkommener Ruhe mit ausgebreiteten Kleidern auf der Oberfläche des Wassers fortschwamm, bis man sie wieder herauszog.

Dafs übrigens der Tod durch das Ertrinken keinen andern Grund habe, als eine Erstickung durch gehemmte Respiration, mithin die Wiederbelebungsversuche diesem angemessen seyn müssen, das falsche Vorurtheil aber, als bedürfe es einer Umkehrung des Körpers, um das verschluckte Wasser wegzuschaffen, nur eine Verschlimmerung des apoplektischen Zustandes herbeiführen könne und daher die Wiederbelebung unmöglich mache, bedarf kaum der Erwähnung. Bis zur Erhaltung ärztlicher Hülfe sind das Abtrocknen, Reiben mit warmen Tüchern, Erwärmen im Bette und Einblasen von Luft in den Mund bei verschlossenen Nasenlöchern die geeignetsten Mittel. Auch die Frage, ob die Kleider in Beziehung auf das Untersinken vortheilhaft, nachtheilig oder gleichgültig sind, läfst sich leicht beantworten. Die sämmtlichen Stoffe, aus denen die Kleider gemacht werden, Baum-

Digitized by Google

wolle, Seide, Leinen und Wolle, sind nur wenig specifisch leichter als das Wasser und die Menge des darin vorhandenen Fischbeins und Metalles ist so gering, dafs sie gar keiner Berücksichtigung bedarf. Auf jeden Fall können also die Kleider das Untersinken nicht befördern, wohl aber werden sie den Körper mit einer geringen Kraft emporheben und anfangs, ehe sie völlig durchnäfst sind, eine nicht geringe Erleichterung geben, wenn aber der im Wasser befindliche Mensch sich an einem nicht starken Gegenstande, einer Gerte, einem Schilfrohre, selbst einer Schnur, festhalten und aus dem Wasser emporheben will oder wenn er an einem steilen, auch wohl schlüpfrigen Ufer sich herauszuhelfen versucht, dann wirken sie nachtheilig, insofern sie durch das aufgesogene Wasser schwerer gemacht das absolute zu hebende Gewicht vermehren und das Zurückfallen in das Wasser befördern.

Regeln zur Erlernung des mechanischen Schwimmens, welches im Allgemeinen darauf beruht, durch eine geeignete Bewegung der Hände und Füfse einen solchen Stofs gegen das Wasser auszuüben, dafs dadurch der Kopf mit den Respirationswerkzeugen über dem Wasser erhalten wird, gebe ich nicht an, indem die verschiedenen Schwimmlehrer dabei bald die eine, bald die andere Methode befolgen. Nicholson zieht vor, gleich damit anzufangen, dafs der Mensch versucht, auf dem Rücken zu schwimmen, und es ist auf jeden Fall nützlich, sich diese Fertigkeit zu verschaffen, weil in dieser die wenigste Anstrengung erfordernden Lage die Muskeln von der Anstrengung des fortwährenden Stofsens gegen das Wasser ausruhen können, vorzüglich bei solchen Individuen, die in dieser Lage statisch schwimmen. Der Zweck des Unterrichts besteht hauptsächlich darin, eine erforderliche Anweisung zu geben, mit den Händen und Füfsen nicht regellose, sondern solche Bewegungen zu machen, vermittelst deren der Körper mit hervorragenden Respirationswerkzeugen an der Oberfläche des Wassers erhalten wird, was jedoch so leicht ist, dafs viele es ohne alle Anweisung von selbst erlernen. Wer eine schriftliche Belehrung hierüber sucht, findet sie vollständig und zweckmäfsig in dem angezeigten Werke von Oronzio de' Bernardi, doch ist eine praktische Anweisung bei weitem zweckmäfsiger und sicherer. *M.*

Digitized by Google

See.

Landsee; *Lacus*; Lac; *Lake, See.*

Unter dem Ausdrucke *die See* mit zahlreichen Zusammensetzungen versteht man das Meer, dagegen bezeichnet *der See* alle gröfsere und kleinere eingeschlossene Wassermassen auf der Oberfläche der Erde, die nicht mit dem Weltmeere oder dem Ocean zusammenhängen. Der Sprachgebrauch hat in dieser Beziehung viel Schwankendes. So heifst es unter andern die Nordsee, die Ostsee, dagegen stets das mittelländische und schwarze Meer, das rothe Meer, das gelbe Meer und auch das Kaspische Meer. Ist gleich die Feststellung der Wortbedeutungen an sich nicht sehr wichtig, so kann doch so viel bemerkt werden, dafs man die Nordsee und Ostsee dieses Namens ungeachtet wegen ihres Zusammenhanges mit dem Ocean nicht zu den Seen zählt, wohl aber das Kaspische Meer; über das schwarze Meer aber wurde oft geschwankt, weil es nur durch einen schmalen Canal mit dem mittelländischen Meere und durch dieses mit dem Ocean zusammenhängt. Im Allgemeinen wird es nicht unter die Seen gerechnet. Weil bei dieser ganzen Untersuchung keine wichtigen physikalischen Gesetze in Betrachtung kommen, sondern mehr ein naturgeschichtliches Interesse vorhanden ist, so wird es genügen, hier nur das Wesentlichste, was zur physischen Geographie gerechnet wird, anzuführen.

Seen finden sich überall auf der Erdoberfläche, in allen Welttheilen, sowohl in ebenen als auch in gebirgigen Gegenden unter allen Breiten, nach Parry[1] selbst in den arktischen Gegenden kleine, bis 15 Faden tiefe und braungrünes Wasser haltende, der Mehrzahl nach aber in nördlichern Districten und namentlich in Nordamerica am häufigsten. Inzwischen sind neuerdings mehrere grofse Seen ohne Ausfluſs selbst in Africa aufgefunden worden[2]. Die Ufer der gröfseren, der schiffbaren und gröfstentheils unübersehlichen, sind wie die Küsten des Meeres zum Theil flach, zum Theil felsig und steil, an manchen Stellen aber auch sumpfig; die der kleineren sind meistens morastig, und die Seen selbst bilden oft

1 Journal of a Third Voy. cet. p. 133.
2 Malte-brun Nouv. Ann. des Voyages. 1825. Avr. p. 106

Digitized by Google

nur den mittlern tiefsten und wasserreichsten Theil ausgedehnter Sümpfe, die schönsten, meistens aus Waldungen und Wiesengründen bestehenden Umgebungen findet man bei den Seen bergiger Gegenden, namentlich denen in der Schweiz und in Oberitalien. Ebenso vielfach verschieden ist ihre Gröfse, ihre Tiefe und ihre Höhe über der Meeresfläche. Manche sind so klein, dafs sie eigentlich nur Teiche genannt zu werden verdienten, haben aber doch den Namen Meer erhalten, wie das Steinhuder Meer in der Grafschaft Bückeburg von etwa einer Meile Länge bei einer Breite von kaum einer Stunde, also nicht gröfser als ein grofser Teich bei Büron in Oberschlesien. Der gröfste See, eben daher auch mit Recht Meer genannt, ist der kaspische See (*Mare Hyrcanum seu Caspium*), welcher ungefähr 4528 Quadratmeilen grofs und in der Mitte über 300 Fufs tief ist. Die ältern Geographen gaben seine Lage und Ausdehnung sehr unrichtig an, z. B. Ptolemaeus, wonach seine Breite gröfser ist, als seine Länge, Herodot, dessen Angaben auf einen noch gröfseren Umfang desselben und einen frühern Zusammenhang mit dem schwarzen Meere schliefsen lassen, und Strabo, nach welchem derselbe mit dem Polarmeere zusammenhängt. Peter der Grosse liefs es zuerst untersuchen[1] und seitdem existiren wenigstens genähert richtige Charten von ihm, obgleich die Grenzen selbst jetzt noch nicht mit hinlänglicher Genauigkeit bestimmt sind. Ein sehr grofser See ist ferner der *Aral* von ungefähr 1124 Quadratmeilen, auch gehören unter die ausgezeichnet grofsen der Baikal, ferner die nordamericanischen, als der *Ontario*, der *Erie*, der *Huronensee*, der *Michegan*, der *Bärensee*, so wie auch das *todte Meer* dahin zu rechnen ist, nebst mehreren andern. Von den zwischen hohen Bergketten liegenden Seen sind einige blofse Behälter des in eingeschlossenen Thälern angesammelten Wassers, andere scheinen erloschene vulcanische Krater zu seyn. Unter die vorzüglich hoch gelegenen Seen gehört der auf dem Mont-Cenis in 6000 Fufs Höhe und der auf dem St. Bernhard, der erstere eine halbe franz. Meile lang und verhältnifsmäfsig breit, der letztere von fast 4000 Meter im Umfange, beide von unbekannter Tiefe. Ein See auf dem Mont-Perdu liegt 7900 Fufs hoch, der Lac Glacé sogar 8200,

1 Mém. de Par. 1721. p. 320.

Digitized by Google

der Tourmaou 7000 Fufs hoch, überhaupt finden sich blofs kleine Seen auf den Hochgebirgen der Pyrenäen, keine am Fufse derselben, wie dieses bei den Alpen der Fall ist, wo an der nördlichen Seite unter andern der Annecy 1300 F., der Genfersee 1100 F., der Neufchateller 1300 F., der Thuner 1800 F., der Luzerner 1400 F., der Zuger 1200 F., der Zürcher 1300 F. und der Bodensee 1100 F. hoch liegen. Von den vielen skandinavischen Seen haben einige bei einer bedeutenden Gröfse auch eine beträchtliche Höhe, als unter andern der Lommijaur und Foemundsöe, jeder 2100 F., der Oeresund 2300 F., der Stygge Vand 3400 F., der Bygdinsöe und der Tyen Söe 3300 F., der Miösvandet 2700 F. und der obere Vattendalssöe 2500 Fufs[1]. Die am höchsten gelegenen Seen finden sich in America, als der Mica bei Antisana 4000 Meter und der See von Mexico 7000 Fufs hoch. Einige der Schweizerseen sollen zugleich beinahe bis auf den Spiegel des Mittelländischen Meeres herabgehen[2]. Dafs es aber einen See geben sollte, dessen Spiegel unter dem des Oceans liege, ist nach den neuesten Ergebnissen über das Kaspische Meer auf jeden Fall sehr zu bezweifeln.

Blofs von einigen der bedeutendern Seen ist ihre Gröfse und Tiefe näherungsweise bekannt, auch würde es bei der aufserordentlich grofsen Zahl derselben nicht zweckmäfsig seyn, selbst nur die meisten namentlich aufzuführen, weswegen ich mich mit der Erwähnung einiger der vorzüglichern begnüge[3]. Aufser den bereits erwähnten *Kaspischen* und *Aral-Seen* verdient noch der *Baikal* angeblich von 924 Quadratmeilen Flächeninhalt genannt zu werden. Auch der *Ladoga*-See hat 292 Quadratmeilen Oberfläche und so sind der *Onega*, der *Peipus* und andere in Rufsland von bedeutendem Umfange. Im südwestlichen Theile von Asien sind die gröfseren Seen

---

1 Schouw Specimen geographiae comparativae. Hauniae 1828. 4. p. 36.

2 V. Humboldt Reisen. D. Ueb. Bd. III. S. 128.

3 Blofs im östlichen Theile des Europ. Rufslands nennt v. Schlieben im Lehrgebäude d. Geographie u. s. w. Leipz. 1828. Bd. II. S. 342. den Ladoga, Onega, Ilmensee, Peipus, Beloje-Osero, Imandra, Kola, Kowda, Pija, Topozero, Oklodnikovo, Werzierw, Luban, Sejo, Vigo, Voila, Kubinskoe, Sinderskoe, Voje, Seeliger, Rostow, Tschuchloma, Galitsch, Iwanow und Beloje.

seltner, am bekanntesten aber unter allen ist das todte Meer in Palästina von 12 Meilen Länge und 3 Meilen gröfster Breite in der Mitte. Das Innere von Africa ist zu wenig bekannt, auch ist die allgemeine hohe Temperatur dieses Welttheils der fortdauernden Erhaltung grofser Wassersammlungen entgegen; dennoch aber ist der *Tsaad* in der Provinz Bornu 90 franz. Meilen lang[1] und der *Dembea* oder *Tzana*-See in Abyssinien unter 12° N. B. nimmt eine grofse, nicht genau bekannte Fläche ein. Bei weitem die meisten grofsen Seen findet man in der nördlichen Hälfte des americanischen Continents, vorzüglich an der Grenze der nordamericanischen Freistaaten, im Ganzen so zahlreich, dafs nur die vorzüglichsten derselben selbst dem Namen nach bekannt sind. Hauptsächlich verdienen erwähnt zu werden der grofse *Bären*-See von etwa 36 Meilen Länge, 30 Meilen Breite und tiefer als 45 Faden, von so hellem Wasser, dafs ein Stück weifses Tuch auf 90 F. Tiefe noch sichtbar ist. Noch nördlicher, im Lande der Kupfer-Indianer unter 67° N. B. liegt der *Büffel*-See, ein anderer gleiches Namens aber liegt unter 56° N. B. Der gröfste unter den nördlichen Seen ist der *Sklaven*-See zwischen 60° und 63° N. B., gegen 36 Meilen breit und über 80 Meilen lang, der sein Wasser grofsentheils aus dem unteren *Büffel-see* (Bieber-, Kreuz- u. Büffel-Flufs) und aus dem *Athapescow* (dem Bergsee) erhält und durch den Mackenzie-Flufs dem Polarmeere zuführt. Ungefähr unter gleicher Breite mit diesen liegen die vielen *Hudsonsbusenseen* und der *Cheesadawdsee*. Einer der gröfsten ist der *Winnipey* unter 51° N. B. von 1200 Quadratmeilen Oberfläche, welcher einen Theil seines Wassers aus dem westlicher liegenden, gleichfalls grofsen See *Assiniboil* durch den Flufs gleiches Namens erhält und in dessen Nähe sich noch andere kleinere, z. B. der *Froschsee*, der *Katzensee* und andere befinden, deren Wasser in mehreren Flüfsen der Hudsonsbai zuströmt, unter denen der Nelson, welcher auch das Wasser des *rothen Sees* aufnimmt, der bedeutendste ist. Bei weitem die bekanntesten und wegen der Schifffahrt auf denselben am wichtigsten sind die an der Grenze der vereinten Staaten liegenden[2]. Dahin gehört der *obere See*

---

1 Ann. Ch. et Phys. T. XXVIII. p. 394.

2 Vergl. Quarterly Journ. of Sc. New Ser. N. X. p. 432.

Digitized by Google

(Lake superior), 75 M. lang und 36 M. breit mit einem Flächeninhalt von 1800 Quadratmeilen und einer Tiefe von 1800 Fufs, in welchen sich gegen dreifsig kleinere und gröfsere Flüfse ergiefsen; der *Huronensee*, 50 M. lang, 35 M. breit, von 750 Quadratmeilen Oberfläche und 1800 F. Tiefe, welcher mittelst des Marien-Canals mit dem oberen, mittelst der Strafse von Michillimakinak mit dem Michigan, durch den Clairkanal mit dem *Clairsee* in Verbindung steht und sein Wasser hauptsächlich durch den schwarzen Flufs (Black-River) erhält; der *Michigan*, etwa 89 Meilen lang, 12 M. breit, von 744 Quadratmeilen Oberfläche und unbekannter Tiefe, in den sich gegen 36 Flüsse und Bäche ergiefsen; der *Eriesee*[1], 60 M. lang und 14 breit, von 597 Quadratmeilen Oberfläche und 400 F. Tiefe, welcher gegen 21 Flüsse aufnimmt und durch den Niagara abfliefst; der *Ontario*, etwa 40 M. lang, fast 10 M. breit, von 582 Quadratmeilen Oberfläche und 1000 F. Tiefe, aus dem der Lorenzflufs kommt, andere kleinere nicht zu erwähnen. In Mexico ist aufser dem genannten kleinen See, worin die Hauptstadt selbst liegt, der *Nicaragua* zwischen den hohen Cordilleren-Gebirgen von 444 Quadratmeilen Oberfläche der gröfste. Aufserdem sind in dieser Provinz der *Chapaia*, der *Kaiman*, der *Salzsee* oder *Teyugo* und der *Timpanogos* von bedeutender Gröfse. America's Südhälfte hat zwar ungleich weniger Seen, als die nördliche, dennoch aber findet man einige sehr bedeutende daselbst, als der *Zapatosa*, der *Maracaibo*, der äufserst romantisch liegende, mit der üppigsten Vegetation seiner Umgebung gezierte *Tacarigua* in Valencia, welcher stets mehr abnimmt, 28800 Toisen lang, an der schmalsten Stelle 6500 Toisen breit, im Mittel nur 15, an der tiefsten Stelle 40 Toisen tief ist und 1332 F. über der Meeresfläche liegt[2]; der *Parimo* oder der weisse See; der kleine *Amucu* in seiner Nähe; der *Lago Negro* und mehrere kleinere am Rio Negro und Amazonen-Flusse, der *Titicaca* (*Chucuito*), der *Lago de Ybera* und mehrere andere.

---

1 Eine ausführliche Beschreibung dieses Sees, welcher sich von 78° 16′ bis 82° der Länge und, wo er am breitesten ist, von 41° 10′ bis 42° 18′ N. B. erstreckt, 565 engl. Fufs über der Meeresfläche liegt und 15 bis 25 Faden mittlere Tiefe hat, giebt Bigsby in Quarterly Journ. of Science. New Ser. N. VIII. p. 358.

2 V. Humboldt Reisen. D. Ueb. Bd. III. S. 120.

Digitized by Google

Aus den bisher mitgetheilten Angaben folgt übereinstimmend mit der Natur der Sache, dafs die Tiefe der Seen sowohl an verschiedenen Stellen in ihnen selbst, als auch bei den einzelnen Individuen sehr ungleich ist, auch läfst sich im Allgemeinen nicht behaupten, dafs ihre Tiefe der Gröfse der Oberfläche direct proportional sey, vielmehr giebt es kleine Bergseen von unglaublicher Tiefe. So soll man im *Wettersee* in Schweden an einigen Stellen auf 300 Faden, im *Nefs* in Schottland auf 600 Faden keinen Grund finden, der *Genfersee* aber zwischen Lausanne und Meillery 800 bis 1000 Fufs tief seyn, ja nicht weit vom Ufer trifft man zuweilen eine Tiefe von mehreren hundert Fufs. Der Kaspische See soll nach Georgi[1] nirgends über 420 F. tief seyn, englische Schiffer wollen aber im nördlichen Theile mehr als 2700 F. mit dem Senkblei gemessen haben und im südlichen konnte man den Grund noch nicht auffinden[2].

Der Wassergehalt der sehr grofsen Seen verändert sich nicht merklich, weil bei der Gröfse ihres Inhalts eine Vermehrung des Zuflusses und des Abflusses nicht füglich in kurzer Zeit eine Veränderung des Wasserstandes erzeugen kann; die kleineren Seen, insbesondere in den Thälern hoher Berge, haben eine mehr oder minder ungleiche Wasserhöhe. So zeigt unter andern der Genfersee einen Unterschied von etwa 6 Fufs, indem er gewöhnlich vom Ende Januars an bis gegen August hin steigt, wenn die hindurchströmende Rhone viel von dem geschmolzenen Schneewasser der Gebirge zuführt, von der Zeit an nimmt er aber ab[3]; doch zeigt er zuweilen plötzliche periodische Wechsel, namentlich die sogenannten Seiches. Beim Bodensee und einer grofsen Zahl anderer Landseen finden sich aus gleichen Gründen ähnliche periodische Wechsel, auch solche, die eine Folge gröfserer Nässe oder Trockenheit der Jahre sind, was keiner genaueren Beschreibung bedarf. Am meisten Aufsehen hat in dieser Hinsicht in älteren Zeiten der *Czirknitzer See* in Krain gemacht[4], so dafs die Angabe

---

1 Beschreib. d. russ. Reichs Bd. I. S. 259.

2 Ritter Erdkunde Berl. 1818. Bd. I. S. 471.

3 Journal Helvétique. 1741. Juin. 1746. Août. Hamburger Mag. Th. X. St. 1. Nr. 5. Th. XI. St. 2. Nr. 4.

4 S. Brown in Phil. Trans. N. LIV. p. 1083. N. CIX. p. 194. Valvasor Ehre des Herzogthums Krain. Laybach 1689. fol. T. 1. Acta

Digitized by Google

seiner wundersamen Eigenschaft in alle Geographieen übergegangen ist, bis nähere Untersuchungen die ganze Sache als eine ziemlich gewöhnliche dargethan haben. Den Angaben nach sollte er meistens alle Jahre oder in unbestimmten Zeiträumen so gänzlich austrocknen, dafs der Boden desselben nach einem reichen Fischfange einen bedeutenden Ertrag an Gras und Korn gab, wie aus seiner Gröfse von fast einer Meile lang, ebenso breit und einer Tiefe von nur etwa 15 Fufs leicht zu schätzen ist. Zugleich wurde behauptet, dafs der Zufluſs des Wassers, welcher in keinem Jahre ganz ausblieb, ungleich schneller erfolge, als der Abfluſs, und beides sollte durch unterirdische Canäle erfolgen. Genauere Beobachtungen haben jedoch ergeben[1], dafs er nichts weiter als ein gewöhnlicher Landsee ist, worin sich das Wasser von den benachbarten Bergen ansammelt. Sein Wasserstand richtet sich daher nach der Nässe oder Trockenheit der Jahre, auch schwillt er bei plötzlichen Regengüssen in der Umgegend schnell an, jedoch trocknet er schwerlich jemals ganz aus. Von 1707 bis 1714 war er stets sehr hoch und gab dann beim Sinken des Wassers eine grofse Menge Fische. Der See unterscheidet sich im Allgemeinen durchaus nicht von anderen, nur etwas kleineren in seiner Umgebung und es ist gewifs meistens eine Folge des Zufalls, dafs er eine so bedeutende Celebrität erhalten hat. Vom See *Jessero* auf der Insel Cherso erzählt Fortis[2], dafs er alle drei Jahre gänzlich austrocknet, vermuthlich hat es aber damit die nämliche Bewandtnifs, wie auch mit mehreren andern, z. B. beim Berge Cocorich in Dalmatien, die in nassen Jahren oder bei starkem Regen gröfser werden, zuweilen auch erst entstehen und durch anhaltende Trockenheit wieder verschwinden. Was aber von einem See bei Kauen im Insterburg'schen Districte in Preufsen erzählt wird, dafs er abwechselnd drei Jahre trocken und drei Jahre mit Wasser erfüllt sey, dann aber eine grofse Menge Fische

---

Erud. 1689. Dec. p. 634. Phil. Trans. N. CXCI. p. 411. Steinberg gründliche Nachricht von dem im inneren Krain liegenden Czirknitzer See. Grätz 1761. 4. Vergl. Edinb. Journal of Sc. N. XII. 223.

1 Gruber's Briefe hydrographischen und physikalischen Inhalts aus Krain. Br. 5 bis 12.

2 Saggio di osservazioni sopro le Isole di Cherso e d'Ossero.

gebe[1], ist vermuthlich nichts anderes als ein künstliches Verfahren, was man auch in Oberschlesien häufig anwendet, indem man Niederungen, die zuweilen durch eigene Dämme eingeschlossen sind, vermittelst eines kleinen Baches in Teiche verwandelt, drei Jahre Fische darin erzielt, sie dann abläfst und den stark gedüngten Boden einige Jahre als Ackerland benutzt, wie ich selbst mehrmals gesehen habe. Auch die Veränderung der Höhe des *Wettersees* in Schweden ist keineswegs periodisch, wie man früher glaubte[2].

Die meisten Landseen, insbesondere die kleineren und namentlich die in gebirgigen Gegenden, haben süfses Wasser, welches mitunter ausnehmend klar ist, insbesondere wenn es dem geschmolzenen Schnee und Eis seinen Ursprung verdankt und nicht durch leicht weggespülte Erden oder vegetabilische Substanzen, namentlich frische oder vermoderte Wasserpflanzen, verunreinigt wird. Solche Seen haben dann die Farbe des reinen Wassers, nämlich sie sind unmerklich wenig bläulich gefärbt, zeigen aber durch den Reflex des Lichtes, des Himmels, der Wolken und aus subjectiven Ursachen mancherlei Farben, namentlich die grüne, die bei ihnen noch schöner und hervorstechender ist, als beim Meere. Die Erklärung dieses Farbenspieles ist schwierig und hat die Gelehrten vielfach beschäftigt. Nach H. Davy[3] ist das völlig reine Wasser, wie man es in den Vertiefungen des Gletschereises ohne alle verunreinigende Beimischung und selbst ohne Einfluss der enthaltenden Gefäfse antrifft, obgleich es in kleinen Massen ganz ohne alle Färbung zu seyn scheint, dennoch etwas bläulich gefärbt. Das Vorhandenseyn einer solchen schwachen Farbe ist beim Wasser selbst kaum merkbar, allein sie zeigt sich leichter bei dicken Stücken sehr klaren Eises, die namentlich bei gerade hindurchfallendem Lichte völlig farblos scheinen, aber im reflectirten Tagslichte oder in schräg durchfallendem, mit reflectirtem verbunden, die schwach himmelblaue Farbe oft von vorzüglicher Schönheit zeigen. Das reine Wasser der Bergseen hat also nach dieser Ansicht eine ursprüngliche, na-

---

1 Acta Ac. Nat. Curios. Dec. II. N. 5.

2 Bergmanns Phys. Erdbesch. S. 348.

3 Edinb. Journ. of Sc. N. XVIII. p. 324. Wiener Zeitsch. Bd. V. S. 324.

türliche, schwach blaue Färbung, die bei der grofsen vereinten Masse zum Vorschein kommen mufs und häufig unter geeigneten Bedingungen sich sehr kenntlich zeigt. In tiefer liegenden Seen, ebenso wie in den Flüssen, mufs aber das Wasser von dem Boden, über welchen es hinfliefst, von den Ufern, von Körpern, die durch die Luft fortgerissen werden, und auf sonstige Weise verschiedene Substanzen aufnehmen, welche die genannte Farbe abändern. Unter die auf solche Weise verunreinigenden Substanzen gehören vorzüglich vegetabilische Substanzen, Pflanzentheile, die, ursprünglich grün, beim Vermodern gelblich werden und daher mit dem natürlichen Blau des reinen Wassers gemischt diesem die gewöhnliche grüne Farbe geben.

Im Ganzen ist diese Erklärung gewifs richtig, jedoch darf sie keineswegs als allen Phänomenen genügend gelten. Nach absichtlich anhaltenden und oft wiederholten Beobachtungen des Gardasees, des Bodensees, des Zürchersees und verschiedener kleinerer glaube ich allerdings, dafs das ganz reine Wasser eine sehr schwache bläuliche Färbung habe, auch will ich zugeben, dafs der bläuliche Schein, welchen gröfsere Wassersammlungen zuweilen zeigen, hiervon herrühre, allein die tiefere blaue Farbe, in welcher die Seen sich zuweilen zeigen, scheint mir mehr subjectiv zu seyn, indem im Tagslichte das stärkere Gelb vorherrschend ist, welches daher das Auge vorzugsweise afficirt, zugleich aber dasselbe hiergegen unempfindlicher macht, und also aus dem schwächeren Lichte, welches von den Seen reflectirt wird, indem das meiste Licht in das Wasser eindringt, wegfällt, weswegen das complementäre Blau zum Vorschein kommt. Eine grüne Färbung wird ungleich häufiger und stärker beim Wasser des Meeres, als bei dem der Seen und Flüsse wahrgenommen, doch will ich nicht in Abrede stellen, dafs sie zuweilen vorhanden sey; ob sie aber von den völlig zersetzten Pflanzentheilen herrühre und ob diese überhaupt in einem solchen Zustande höchst feiner Zertheilung noch die ihnen früher eigenthümliche gelbe Farbe beibehalten, so dafs deren Verbindung mit dem natürlichen Blau des Wassers Grün erzeugen könnte, bin ich weniger geneigt anzunehmen. Dagegen habe ich beim Wasser des Rheins in der Nähe von Schafhausen, bei der Limmat und anderen höchst reinen Bergwassern ein so tiefes und schönes eigentliches

ilized by Google

Smaragdgrün wahrgenommen, dafs dieses unmöglich durch Beimischung einer färbenden Substanz erzeugt sein konnte, da selbst in beträchtlicher Tiefe die weifsen Quarzgerölle vollkommen klar und ohne alle Färbung gesehen wurden. Bei anhaltender genauer Betrachtung gewahrt man aufserdem bald, dafs an verschiedenen, nebeneinander befindlichen, mitunter sogar scharf begrenzten Stellen das nämliche Wasser gleichzeitig völlig hell, weniger und mehr grün bis zum tiefen Smaragdgrün und ungleich blau vom hellen Himmelblau bis zum tiefen Blau erscheint, was nur aus dem eigenthümlichen Reflexe des auffallenden Lichtes und aus den hiernach hervorgerufenen subjectiven Farben erklärt werden kann.

Aus diesen und anderen Gründen bin ich in Gemäfsheit zahlreicher Beobachtungen geneigt, rücksichtlich des Farbenspieles der Seen und Flüsse Folgendes anzunehmen. Das ganz reine, durch anderweitige trübende und färbende Stoffe nicht verunreinigte Wasser mag immerhin eine sehr schwache bläuliche Färbung haben, jedoch scheint mir diese blofs von der Reflexion der Lichtstrahlen, welche bei durchsichtigen Medien, ebenso wie bei der Luft, die blauen vorzugsweise trifft, herzurühren, indem man namentlich weifse Körper in grofsen Tiefen ohne die geringste Färbung wahrnimmt. Wasserflächen erscheinen daher in Folge der geringeren Menge von reflectirtem Lichte im Allgemeinen dunkel, bei starker Reflexion weifslich, zugleich aber zeigen sie ein mannigfaltiges Farbenspiel durch den Reflex der von ihnen gespiegelten Gegenstände, wohin hauptsächlich das Grün gehört, weil sie meistens von Wiesen und Wäldern umgeben sind. Aufserdem aber geben sie vorzugsweise diejenigen Farben wieder, die durch das vom Himmel und von den Wolken auf sie fallende Licht entweder unmittelbar oder unter Mitwirkung des physiologischen Einflusses erzeugt werden, wobei namentlich das tiefe Grün und das Saphirblau oder Himmelblau meistens als subjectiv zu betrachten sind. Anderweitige eigentliche Färbungen, z. B. durch Wasserpflanzen oder sonstige verunreinigende Substanzen, sind in den meisten Fällen leicht zu erklären.

Im Ganzen stimmt diese Erklärung mit derjenigen überein, wozu sich J. R. Jackson[1] bekennt. Dieser bezweifelt

1 Bibl. univ. 1830. Avril. Observations on Lakes cet. Lond. 1833. 4. p. 51.

Digitized by Google

zuerst die völlige Reinheit des Wassers selbst der Schweizerseen, weil das Wasser erdige Bestandtheile von dem Becken aufnehmen müsse. Hiergegen läfst sich jedoch erinnern, dafs Davy von Wasserbehältern redet, die sich im Eise befinden, worin also keine verunreinigenden Substanzen des Behälters enthalten seyn können, wenn es gleich fraglich ist, ob das Schneewasser, sobald es in so grofsen, durch Ansammlung entstandenen Massen vorhanden ist, als ganz rein zu betrachten sey[1]. Ist dann die Wassermasse tief genug, so soll sie das auffallende Licht wie ein Spiegel zurückwerfen und zugleich ein tiefes Blau des Himmels zeigen; allein die Spiegelung an sich, als Folge der Wirkung der Oberfläche, wird durch die Tiefe nicht bedingt und dann bleibt die Hauptsache, nämlich die Entstehung der blauen Farbe, unerklärt. Richtig dagegen ist die Annahme, dafs der Boden der Seen durch das von ihm bei nicht allzugrofser Tiefe reflectirte Licht, mit dem von der Oberfläche zurückgeworfenen, die Färbung des Wassers der Seen modificirt, zugleich aber findet Jackson in der ausnehmenden Klarheit, womit bei manchen Seen die Gegenstände am Boden selbst bei beträchtlicher Tiefe in ihren natürlichen Farben gesehen werden, so dafs zuweilen gar kein Medium dazwischen zu seyn scheint, einen Beweis von der absoluten Farblosigkeit des Wassers. Namentlich ist das Wasser des *oberen Sees* (Lake superior) so klar, wie vielleicht kein anderes auf der Erde, so dafs seine Durchsichtigkeit die Beobachter in Erstaunen setzt; ebenso erregt es bei den Seen in Norwegen Schrecken, wenn man über die in 100 bis 120 Fufs tiefen Felsenrücken hinfährt und zwischen diesen zu versinken fürchtet; im Wettersee aber kann eine kleine englische Münze auf 20 Faden Tiefe noch deutlich gesehen werden. Hiernach hängt also die Farbe der Seen blofs von zwei Ursachen ab, nämlich der Färbung des Bodens und der Tiefe des Wassers, welche beide vereint wirkend die verschiedenen Modificationen erzeugen sollen. Daneben sind aber manche Seen, z. B. das *gelbe Meer*, durch erdige oder sonstige mechanisch durch das Wasser fortgeführte Substanzen gefärbt, das durch den Wind bewegte Wasser wird weniger durchsichtig und rührt den Boden auf, die Schatten benachbarter Berge,

1 Vergl. *Regen* Bd. VII. S. 1222.

unterirdische Strömungen sind gleichfalls von Einfluſs, und so können noch specielle Ursachen auf einige Zeit örtliche Einflüsse äuſsern. Unter andern finden sich im *grünen See* unweit der Lomnitzer Spitze in Ungarn mehrere von der im Ganzen dunkeln Wasserfläche kenntlich unterschiedene grüne Flecke, die sich nach Beudant[1] sämmtlich über unterirdischen Quellen befinden. Auch die Flecken, die sich häufig auf dem Genfersee finden und von den Anwohnern für Vorboten bevorstehenden Regens gehalten werden, entstehen nach Jackson durch solche unterirdische Quellen oder wahrscheinlicher durch partielle Bewegungen in der Atmosphäre, die die Oberfläche an einzelnen Stellen kräuseln, weswegen die Menge und die Orte dieser Flecken einem Wechsel unterliegen. Endlich läſst sich ein bedeutender Einfluſs von einzelnen Wolken und deren Farbe auf die Färbungen der Seen nicht in Abrede stellen.

Manche Seen sind nach einer Farbe benannt, ohne daſs diese ihnen auf eine eigentlich hervorstechende Weise eigen ist. Hierher gehören die Bezeichnungen: das schwarze Meer, das weiſse Meer, das gelbe Meer, welches letztere allerdings durch gelben sandhaltigen Thon gefärbt ist, das rothe Meer, welches gleichfalls oft eine rothe Farbe hat, die nach Ehrenberg[2] von einer gewissen Pflanze, einer Species von *Oscillatoria*, herrühren soll, und andere.

Die Seen haben entweder reines, sogenanntes süſses Wasser oder mit mineralischen Stoffen mehr oder weniger gesättigtes. Meistens haben die Landseen, die zwischen Bergen liegenden, diejenigen, welche durch Stagnirung von Flüssen entstehen, süſses Wasser, und da dieses der Regel gemäſs ist, wonach das Wasser an sich eigentlich keinen Geschmack hat, so läſst sich hierüber weiter nichts beibringen. Der Aufmerksamkeit und einer näheren Beschreibung werth sind demnach nur diejenigen Seen, deren Wasser mineralische Substanzen aufgelöst enthalten, unter denen das Kochsalz am häufigsten vorzukommen pflegt. Salzige Seen, worin mehr oder weniger reines, meistens mit salzsaurem Kalk und Bittererde, mit schwefelsaurem Natron, Kalk und Bittererde verunreinigtes Kochsalz aufgelöst ist, giebt es in allen Welttheilen, und zwar

---

1 Voyage en Hongrie T. II. p. 117.
2 Edinb. New Phil. Journ. N. VII. p. 182.

Digitized by Google

auch solche, aus denen wegen grofser Sättigung des Wassers durch Verdunstung dieses Salz in Krystallen ausgeschieden wird, die meisten derselben aber findet man in dem salzreichen nordöstlichen Theile von Asien[1]. Es wird genügen, nur einige der bedeutendsten ans der grofsen Menge der vorhandenen namhaft zu machen. Der *Grjäosne-Osero* (kothige See) östlich vom Jaik hat 20 Werste im Umfange, auf seinem tiefen Boden ruhet ein weifsbläulicher Schlamm und sein Salzgehalt ist so stark, dafs in den heifsen Monaten Juli und August eine Kruste von etwa 0,5 Zoll Dicke erzeugt wird. Der See *Inder* oder der *Inderskische* See, von 80 Wersten Umfang in der Kirgisen-Steppe, erhält sein Wasser aus vielen Quellen, die ihm eine gesättigte Soole zuführen, so dafs in Folge der Verdunstung von der grofsen Oberfläche der nicht tiefe Boden mit einer Rinde von einer halben Arschine dick bedeckt ist[2]. Um Gurjef giebt es mehrere Seen, in denen während der wärmeren Jahreszeit gleichfalls eine solche Salzkruste erzeugt wird, die aber während der regnigten Monate wieder schmilzt. In der Isetkischen Provinz sind zwei durch einen schmalen Canal verbundene Seen *Sovotschie-Osero*, wovon der südlichere eine Menge mit schwefelsaurem Natron gemischtes Kochsalz enthält, welches durch die Kälte niedergeschlagen wird. Der grofse See *Elton* oder *Alton* im Astrachanschen setzt an seinen Ufern jährlich Salzschichten ab, die übereinander liegen, durch dünne Schichten schwarzen Schlammes getrennt sind und deren Masse so grofs ist, dafs im Sommer gegen 1000 Arbeiter mit dem Aufbrechen und Sammeln derselben beschäftigt sind. Das Salz des *Bogdinskoi* lagert sich gleichfalls jährlich in Schichten ab und ist reiner als das des Alton[3]. Die ergiebigsten Salzseen sind wahrscheinlich die von Mahagam-Pattou auf Ceylon. Sie entstehen, indem das Meerwasser durch den Sand dringt, bei heftigen Bewegungen über ihre Dämme spült, wo durch Verdunstung dann eine solche

---

1 Pallas Reisen durch verschiedene Provinzen des Russischen Reichs. Bd. II. und III.

2 Vergl. Alexander in Edinb. New Phil. Journ. N. XV. p. 18.

3 Ueber diese und andere sibirische Salzseen s. P. S. Pallas Reisen Th. I. S. 299. 406. 427. Th. II. S. 349. Th. III. S. 630. u. a. a. O. J. F. Erdmann Beiträge zur Kenntnifs des Innern von Rufsland. 2te Abth. S. 252.

Menge Salz erzeugt wird, dafs jährlich gegen 10000 Pfd. Sterl. Revenüen daraus erhalten werden[1]. Ein ähnliches Verhalten zeigt sich bei einem See in der Nähe der Cap-Stadt, wo das eindringende Seewasser durch die Sonnenhitze stets verdunstet und das Salz in schneeweifsen feinen Krystallen am Rande zu bedeutender Höhe aufgehäuft ist. Hierdurch gewährt derselbe einen sehr romantischen Anblick, indem das Salz einer Anhäufung von Schnee gleicht, die mit der grünen Umgebung einen auffallenden Contrast bildet. Das Salz wird in grofser Menge der Cap-Stadt zugeführt[2]. Auf der Halbinsel Araya in America und an einigen andern Orten in diesem Welttheile sind gleichfalls salzgebende Seen[3]; auch giebt es in Europa, namentlich in Siebenbürgen, verschiedene Seen mit salzigem Wasser, die Verdunstung ist jedoch zu gering, als dafs auf diese Weise Kochsalz zum Verbrauche aus ihnen gewonnen werden könnte. Ein See im Mansfeldischen, eine Meile lang und eine Viertelmeile breit, hat einen Salzgehalt, wie die Ostsee, und steht mit einem anderen, eine halbe Meile entfernten Süfswassersee in Verbindung. Einige sibirische Seen, z. B. der *Tschubaret*, hatten nach Pallas ehemals süfses Wasser, sind jetzt aber gesalzen, was sich leicht daraus erklären läfst, dafs sie Salzquellen aufnehmen und dafs das süfse Wasser allmälig mehr verdunstet. Auch der See *Möris* soll nach Andreossy ehemals süsses Wasser gehabt haben, jetzt aber ist er salziger als das Mittelländische Meer, auch enthielten die jetzt bitteren Seen des Isthmus von Suez nach Strabo süfses Wasser. Auch das Kaspische Meer hat salziges Wasser, jedoch von geringerem Gehalte als die eigentlichen Salzseen, und vorzüglich ist es an den Ufern sehr mild, wie unter andern Gmelin gefunden hat, nach welchem es viel Glaubersalz enthält und eine eigenthümliche Bitterkeit hat, die von seinem Gehalte an Erdöl herrührt. Marcet[4] wufste

---

1 Nouv. Ann. des Voyages Livrais. XXXV. p. 240.

2 Lichtenstein Reisen Th. I. S. 556. Dieser See scheint einer von den Salzseen (Zoutpans) zu seyn, deren Barrow (Travels into the Interior of Southern Africa. Lond. 1801. 4.) mehrere im Lande der Hottentotten sah, auf deren Boden eine dicke Salzkruste abgelagert ist.

3 Von Humboldt Reisen Th. I. S. 525.

4 G. LXIII. 137.

blofs im Allgemeinen, dafs jenes Wasser nicht sehr salzig ist, und konnte sich zur Analyse keines verschaffen.

Unter die merkwürdigsten Seen gehört das todte Meer, auch Salzsee und Schwefelsee genannt, welches, schon früh berühmt, durch die neueren Reisenden erst näher bekannt geworden ist. Seine Länge beträgt ungefähr 12 Meilen, seine Breite 3 Meilen und die ganze Umgegend liefert durch schreckliche Oede ein Bild des Todes. Den Eingang zu demselben macht ein Salzthal, worin sich ein mächtiges Salzlager befindet, von welchem manche Theile selbst zu Tage anstehen, indem hin und wieder grofse Salzblöcke hervorragen, die man für die sogenannte *Loth's-Säule* ansah und diese an verschiedenen Stellen gefunden haben wollte, weil in der That deren mehrere vorhanden sind. Die Araber holen von dorther Salz, welches nebst dem Asphalt den einzigen Handelsartikel jener Gegenden ausmacht. Dasjenige Asphalt, was im See in grofser Menge schwimmt, ist lockerer als was ausgegraben wird, kommt aber schwerlich nach Europa. Auch etwas Schwefel wird dort gefunden. Die älteren Schriftsteller, Hieronymus, Josephus und andere erzählen, der See ernähre kein lebendes Wesen, weder Fische noch Schaalthiere, Maundrel will aber am Gestade ausgeworfene Conchylien gefunden haben und nach neueren Nachrichten trifft man dort blofs eine Art kleine Krebse, da es allerdings richtig ist, dafs alle Fische, die der Jordan hineinführt, sogleich sterben[1]. An seinem südlichen Ende ist der See sehr seicht, so dafs er durchwatet werden könnte, wodurch die Strafse nach Palästina bedeutend abgekürzt werden würde; allein dieses geschieht von den Reisenden nicht, weil das Wasser den Füfsen auf dieser 5 Stunden langen Strecke zu unangenehm ist. Die älteren Behauptungen, dafs man bei niedrigem Wasserstande noch Spuren zerstörter Städte am Boden finde, sind an sich nicht wahrscheinlich und werden durch die neuesten Reisebeschreiber nicht bestätigt. Die Römer befuhren ihn auf leichten Schiffen von Rohr, um das Bitumen auf demselben zu sammeln, gegenwärtig aber ist er ganz leer, die ganze Umgegend öde und verlassen, überall die sichtbarsten Spuren früherer vulcanischer Verheerungen,

---

1 Relandi Palaestina ex monumentis veteribus illustrata. L. I. Cap. 37. Michaelis vom todten Meere; im N. Hamb. Mag. Th. I. u. II.

Digitized by Google

ja sogar noch kraterähnliche Spalten zeigend[1], bietet den Caravanen nur einige sogenannte *Khans*, alte beinahe verfallene Häuser, zum Ausruhen und als Nachtquartiere dar, und einzelne Reisende laufen noch aufserdem Gefahr, von wilden räuberischen Horden, die zuweilen bis dorthin kommen, ausgeplündert und erschlagen zu werden. Das Wasser desselben ist klar und geruchlos, aber mit Salz vollkommen gesättigt, so dafs sich das Salz an der Ostseite in fufsdicken Schollen anlegt und alle Gegenstände inkrustirt, jedoch wird von diesen Ablagerungen kein Gebrauch gemacht, weil die Gegend ohnehin übermäfsig reich an Salz ist. Selbst das durch den Wind fortgerissene Wasser überzieht benachbarte Körper und die Kleider der Reisenden mit Salzkrystallen. Bei grofser Hitze ist seine Ausdünstung ungesund und hat nach Seetzen[2] den Geruch des Seewassers. Zuweilen steigen Rauchsäulen aus demselben auf, vorzüglich wenn das benachbarte Syrien durch Erderschütterungen heimgesucht wird, und während der Zeit der grofsen Erdbeben daselbst war er fast unablässig mit Rauchwolken bedeckt. Hiernach erklärt sich dann auch die hohe Temperatur des Wassers als wahrscheinliche Folge des emporquellenden Asphalts, welches anfangs flüssig ist und erst an der Oberfläche erhärtet[3].

Das Wasser dieses Sees ist nach Maundrel, Thevenot und Arvieux klar und hell, nach andern soll es schwarz seyn, nach Pocock und Seetzen aber gleicht es dem Wasser des Meeres. Es ist wegen des historischen Interesses dieses Sees häufig untersucht worden, namentlich von Klaproth[4], wonach in 100 Theilen desselben 10,6 salz. Kalk, 24,2 salzs. Talk und 7,8 salzs. Natron enthalten sind. Gay-Lussac[5] fand das specif. Gewicht desselben bei 17° C. = 1,2283 und in 100 Theilen 6,95 Kochsalz, 3,98 salzs. Kalk und 15,31 salzsauren Talk. Nach Hermbstaedt's[6] Analyse beträgt das specifische Gewicht bei

---

1 Ali Beys el Abassi Reisen u. s. w. Weim. 1816. S. 454.

2 Monatl. Correspondenz. Th. XVI.

3 Ritter's Erdkunde. Berl. 1818. Th. II.

4 Magazin d. Berl. Ges. Naturf. Freunde Th. III. S. 439. Daselbst findet man auch die Resultate älterer Analysen.

5 Ann. Chim. et Phys. T. XI. p. 195. Journ. de Phys. LXXXIX 77. C. LXIII. 198.

6 Berliner Denkschriften. 1820 u. 21. S. 68.

Digitized by Google

12°, 5 R. 1, 24 und es finden sich in 100 Theilen an freier Salzsäure 0,507; schwefelsaurer Kalk 0,004; schwefels. Natron 1,597; Chloreisen im Maximum 0,335; Chlorkalium 0,275; Chlornatrium 4,859; Chlorcalcium 4,250; Chlormagnium 15,755, zusammen 27,584. Nach Lavoister[1] ist sein spec. Gewicht = 1,24062 und nach C. Gmelin[2] bei 13° R. = 1,21223. Nach diesem enthalten ferner 100 Theile des Wassers 24,5398 getrocknete feste Bestandtheile und diese bestehen aus 3,2141 Chlorcalcium; 11,7734 Chlormagnium; 0,4393 Brommagnium; 7,0777 Chlornatrium; 1,6738 Chlorkalium; 0,0896 Chloralumium; 0,2117 Chlormangan; 0,0075 salzs. Ammoniak; 0,0527 schwefelsaurer Kalk.

Ein völlig mit Salz gesättigtes Wasser hat auch der grofse See *Urumea* oder *Urmia* in den vulcanischen Gebirgen unweit des Ararat. Er hat einen Umfang von 300 englischen Meilen, nährt keine Fische, was eine Fólge davon ist, dafs das gesättigte Salzwasser gar kein oder zu wenig Sauerstoffgas enthält. Marcet[3] giebt das spec. Gewicht des Wassers = 1,16507 an, und es soll in 500 Theilen 85,00 Kochsalz; 10,08 salzs. Bittererde; 40,26 schwefelsaures Natron, also in 100 Theilen 27,05 Theile feste Substanzen enthalten. Der See ist schon seit den ältesten Zeiten her berühmt[4]. Ein See *Loonar*, dessen Wasser nach einer nicht ganz zuverlässigen Untersuchung eine ganz gleiche Beschaffenheit hat, indem sich in 100 Theilen 20,82 Kochsalz; 10,6 salzsaurer Kalk und 6,1 salzsaure Bittererde befinden, dessen Salze gesammelt und sowohl zu ökonomischen, als auch zu technischen Zwecken verbraucht werden, befindet sich in der ostindischen Provinz Berar unter 19° 10′ N. B. und 75° 3′ östl. Länge[5].

Unter die sonstigen mineralischen Körper, die sich in

---

1 Mém. de l'Acad. 1778. p. 69.

2 Ann. Ch. Phys. T. XXXV. p. 102. Die genaue Analyse des Wassers nebst einer Mittheilung der Analysen von Lavoisier, Marcet aus Phil. Trans. 1807. p. 296, Klaproth aus dessen Beiträgen Th. V. S. 185 und von Gay-Lüssac findet man in: Naturwissenschaftliche Abhandlungen. Herausgegeben von einer Gesellschaft im Würtemb. Tüb. 1827. Th. I. S. 333. Vergl. Edinb. Phil. Journ. N. Ser. N. VI. p. 381.

3 Ann. of Philos. T. XIV. p. 151.

4 Vergl. Ritter Erdkunde. 1ste Aufl. II. 745.

5 Alexander in Edinb. Phil. Journ. N. XXII. 303.

manchen Seen in bedeutender Menge finden, gehört vorzüglich das Natron. Dahin gehören hauptsächlich die vielen Natron-Seen in Aegypten, einige kleinere in Ungarn[1], ein See, dessen Wasser Tinkal enthält, findet sich in Tibet, der See *Sarnoje-Osero* unfern des Flusses Surgut in Sibirien wird aus schwefelhaltigen Quellen gebildet, liegt in einem eingeschlossenen öden Thale, gewährt einen schauderhaften Anblick und verbreitet auf drei Werste im Umkreise einen schrecklich ekelhaften Geruch. Sein klares Wasser hat eine Temperatur von 37° C., erzeugt am Boden einen schwarzen Niederschlag, in dem tiefen Abzugs-Canale aber einen graulich weissen Ueberzug, wird durch den ausgeschiedenen Schwefel nach einem Laufe von 50 Faden trübe, weiterhin milchweifs und färbt den Flufs Surgut. Die Natronseen in Ungarn sind schon seit den ältesten Zeiten bekannt, sie trocknen in der heifsen Jahrszeit meistens aus und dann wird die Soda gesammelt, deren Ertrag jährlich gegen 50000 Centner ausmacht[2]. Andere verschiedene mineralische Substanzen, welche sich in dem Wasser der Seen finden, können hier nicht einzeln erwähnt werden, doch ist der *Lough-Neagh* in Irland seit langer Zeit wegen seiner Eigenschaft bekannt, hineingeworfenes Holz zu versteinern oder vielmehr mit Eisentheilchen zu durchdringen[3]. Oft wird nur ein Theil des Holzes auf diese Weise verändert und während dann das übrige zur eigentlichen Kohle verbrennt, kommt das veränderte nur ins Glühen und das hieraus bereitete Pulver wird dann vom Magnete angezogen.

Dafs die Seen die in ihnen enthaltenen mineralischen Stoffe von dem Boden erhalten, worüber ihr Wasser steht oder woher ihnen dasselbe zugeführt wird, ist wohl die naturgemäfseste Erklärung. Der vorhandene und meistens bleibende Grad der Sättigung ist dann eine Folge des Conflictes mehre-

---

1 Diese Natronseen sind hauptsächlich bei Debretzin auf grofsen sandigen, mit Thon gemischten Ebenen und beim Austrocknen im Sommer wird das Natron gesammelt. Man hat dessen Entstehung aus einem chemischen Zersetzungsprocesse zu erklären versucht, allein ohne Erfolg, und sein Ursprung ist daher unbekannt. S. Berzelius Jahresbericht Th. III. S. 217.

2 Ruckert Beschreibung der Soda-Seen, in v. Crell's chem. Ann. Th. I. S. 525.

3 Phil. Trans. Nr. 158. p. 552.

rer bedingenden Umstände, als der Menge des zufliefsenden süfsen oder mineralischen Wassers, der Stärke der Verdunstung und der Masse der vorhandenen mineralischen Substanzen. Sonst hat man namentlich den Salzgehalt davon abgeleitet, dafs man die Seen als Ueberbleibsel des Meeres ansah, welches ehemals die ganze Erde bedeckt haben soll, allein als entscheidender Erklärungsgrund ist der Umstand zu betrachten, dafs die Seen ohne Ausnahme diejenigen mineralischen Substanzen enthalten, die sich in der Umgegend finden, jedoch können sie ihnen auch aus der Entfernung durch die Flüsse zugeführt werden, die sich in sie ergiefsen. Auf jeden Fall ist die Hypothese verwerflich, wonach die mineralischen Substanzen durch atmosphärische Einflüsse, wie der Salpeter, erzeugt werden sollen. Einige Seen haben die Eigenschaft schwarz zu färben, was eine Folge des enthaltenen Schwefelwasserstoffgases ist, indem dieses die Haut schwarz färbt, wenn sie vorher mit Schminke aus Metalloxyden eingerieben war.

Einige Seen von unermefslicher Tiefe sind wohl ohne Zweifel nichts anderes, als ausgebrannte und nachher mit Wasser ausgefüllte vulcanische Krater, z. B. der *Averno* und der *Agnano* in Italien, der See auf der Adamsspitze zu Ceylon, einer in der Sierra d'Estrella bei Coimbra und andere, wenn gleich Demarest[1] dieses bezweifelt und diese Vertiefungen für Einsenkungen oder Erdfälle hält.

Die meisten gröfsern Seen nehmen beträchtliche Flüsse auf und speisen andere aus ihnen ausfliefsende; manche sind anscheinend sogar nur ausnehmend grofse Erweiterungen der Ufer eines durch sie fliefsenden Stromes, wie unter andern der Bodensee eine Unterbrechung des Rheins und der Genfersee der Rhone darbietet. Einige grofse Seen aber zeichnen sich dadurch vorzüglich aus, dafs sie viele grofse Flüsse aufnehmen und nur durch wenige kleinere oder überhaupt keinen Abflufs haben. Am meisten Aufsehn in dieser Beziehung hat allezeit das Kaspische Meer erregt, welches aufser mehrern kleinen die grofsen Flüsse Emba, Ural, Wolga, Kuma, Terek, Kur, Sefydrud (Kisil-Ozen), Tetschien und Sakmara aufnimmt, ohne durch irgend einen das empfangene Wasser dem Ocean zuzuführen. Man berechnet, wiewohl nach sehr

1 Mém. de l'Inst. T. VI. p. 247.

unsichern Thatsachen, dafs die Wolga allein täglich 21600 Millionen Kubikfufs Wasser zuführt, und wenn dann alles das, was die sämmtlichen übrigen Ströme und die Hydrometeore liefern, nur doppelt so viel gerechnet wird, so scheint diese Gesammtmasse bedeutend gröfser, als die durch Verdunstung entweichende. Bei der Aufmerksamkeit, die ein so grofser, gänzlich eingeschlossener, noch obendrein historisch so berühmter See stets auf sich zog, nahm man daher schon früh zu allerlei Hypothesen seine Zuflucht. Die meisten nahmen an, dafs er durch unterirdische Canäle mit dem schwarzen Meere zusammenhänge. Als Beweis hierfür erwähnt Kircher[1], dafs das schwarze Meer durch die Ostwinde unruhig werde, die das Kaspische Meer treffen, und umgekehrt letzteres durch die Westwinde, die blofs das erstere in Bewegung setzen; auch finde man im schwarzen Meere ausgeworfene Pflanzen und Thiere, die dem Kaspischen ausschliefslich zugehören. Dagegen erzählt der Jesuit Philipp April[2], dafs man zur Herbstzeit im Persischen Meerbusen häufig Weidenlaub finde, obgleich diese Baumart im mittäglichen Persien gar nicht vorhanden sey und nur an den Ufern des Kaspischen Sees wachse. Hiernach müfste also eine noch weit minder wahrscheinliche und kaum mögliche Verbindung mit dem Persischen Meerbusen statt finden, zu deren Bestätigung man jedoch starke Strudel in der Mitte des Kaspischen Sees wahrgenommen haben wollte, deren Existenz aber de l'Isle[3] in Folge der durch Peter den Grossen angestellten Untersuchungen ganz in Abrede stellt. Bergmann nimmt die jährliche Verdunstung des Sees zu 30 Zoll an, die Oberfläche zu 3650 schwedischen Quadratmeilen (deren 10,5 auf einen Grad gehn), und berechnet hiernach die Menge des verdampften Wassers etwas über 14 Billionen Kubikfufs, statt dafs der Zufluss jährlich 23,5 Kubikfufs betrage. Gmelin[4] stellt jede Verbindung mit andern Meeren in Abrede, glaubt aber, dafs das Wasser durch eine Menge grofser Höhlungen in der Umgegend zum Theil aufgenommen werde. Allerdings

1 Mundus subterr. T. I. p. 88.

2 Voyages en divers états d'Europe et d'Asie. Par. 1698. 12. Acta Erud. Lips. 1694. p. 68.

3 Mém. de l'Acad. de Paris. 1720. p. 495.

4 Reise durch Rufsland. Petersb. 1774. Th. III. S. 231.

Digitized b

wird eine grofse Menge durch die umherliegenden, ebenen, sandigen Steppengegenden eingesogen und dann die Verdunstung befördert, im Ganzen aber kann man wohl nur mit Gewifsheit behaupten, dafs keine unterirdische Canäle vorhanden sind, im Uebrigen aber fehlt es an hinlänglich sichern Thatsachen, um über das Problem bestimmt zu entscheiden.

Die aufserordentliche Tiefe dieses Sees an einigen Stellen seiner südlichen Hälfte ist bereits oben erwähnt worden, indefs ist er an andern Stellen seicht, mit mehrern flachen Küsten, so dafs die Schifffahrt auf demselben hierdurch und durch die heftigen, oft und unerwartet auf ihm ausbrechenden Stürme ausnehmend erschwert wird[1]. Ein merkwürdiger Umstand ist aufserdem, dafs nach Beobachtungen, welche Lenz[2] in der Nähe von Baku angestellt hat, der Spiegel des Meeres in den letzten Jahren um 10 Fufs gesunken zu seyn scheint, man müfste denn annehmen, dafs sich der Boden in jener Gegend gehoben habe. Dieses Phänomen ist um so auffallender, da früher Städte und Dörfer, wie namentlich Terek, welches zur Zeit Peter's des Grossen von seinen Einwohnern verlassen wurde, im Wasser untergegangen sind, so dafs an einigen Orten Thurmspitzen aus dem Wasser hervorragen sollen. Solche Senkungen lassen sich jedoch aus allmäligen unterirdischen Ausspülungen leichter erklären, als bedeutende Senkungen des Wasserspiegels im Ganzen oder Erhebungen einzelner Orte. Uebrigens bemerkt Berzelius[3] mit Recht, dafs periodische Schwankungen des Niveau's bei Seen ohne Abflufs aus meteorischen Verhältnissen leicht erklärbar sind. Am meisten Aufsehn erregte neuerdings das Resultat eines barometrischen Nivellements von Parrot und Engelhardt zwischen den beiden genannten Meeren, wonach der Spiegel des Kaspischen über 300 Fufs tiefer liegen sollte, als der des schwarzen Meeres. Obgleich die Vertiefung einer so bedeutenden Wassermasse, die noch obendrein vom Pontus Euxinus durch gröfstentheils sandiges, mitunter sumpfige Strecken enthaltendes Erdreich getrennt wird, nicht wahrscheinlich erscheinen mufste,

---

1 Vergl. Ritter's Erdkunde Th. II. S. 569 ff.

2 Mém. de Petersb. T. II. p. 67. Poggendorff's Ann. XXIV. p. 49.

3 Jahresbericht u. s. w. 13ter Jahrg. 1834. S. 397.

so wurde sie doch als ausgemacht angesehn, weil das Resultat der erwähnten Messung mit dem einer andern, die durch v. Helmersen und Hoffmann zwischen Orenburg und Guriew am Ausflusse des Jaik ausgeführt wurde, übereinstimmte und auch Duhamel und Anjou durch ihre Messung zwischen dem Kaspischen und Aralsee fanden, dafs der Spiegel des letztern 117 engl. Fufs höher liege, als der des erstern[1]. Neuerdings hat jedoch Parrot[2] durch eine sehr grofse Menge barometrischer Messungen, namentlich ein Stationen-Nivellement zwischen der Wolga und dem Don, durch Vergleichung der Gefälle dieser beiden Flüsse und durch die ganze Gestaltung des Landes zwischen beiden Meeren, sowie durch die Richtung und den Lauf der Flüsse, namentlich des Manetsch, vollständig erwiesen, dafs beide Meere, das schwarze und Kaspische, in völlig gleichem Niveau liegen. Das Wasser des letztern ist etwas gesalzen, jedoch keineswegs so sehr, dafs keine Fische darin leben könnten, vielmehr kann es an einigen Stellen, namentlich den Küsten und nahe bei den Mündungen der gröfsern Ströme, sogar zum Kochen gebraucht werden.

Der nicht weit entfernte *Aral* (Aral-Tengis, Insel-See, wegen der vielen Inseln in ihm von den Tataren so genannt), etwa 8 Tagereisen lang und 2 breit, wurde früher für einen Arm des Kaspischen gehalten und das Wasser in beiden ist auch von gleicher Beschaffenheit, nährt deswegen auch gleichartige Schildkröten, Seehunde u. s. w. Vermuthlich beruht die Annahme von mächtigen Strudeln, die sich in seiner Mitte befinden sollen, auf unsichern Sagen und es ist zu erwarten, dafs neuere Untersuchungen hierüber und über die noch wenig bekannte Beschaffenheit der Umgend nähere Auskunft geben werden[3]. Aufser mehrern kleinen Flüssen ergiefsen sich in ihn namentlich der Sihun oder Sir und der Djihun oder Amu, beide schiffbare Ströme, ohne dafs irgend ein Ausfluſs aus ihm statt findet. Mehrere Seen von fast gleicher nördli-

---

1 V. Humboldt's Fragmente einer Geologie und Klimatologie Asiens. Berl. 1832. S. 49.

2 Reise nach dem Ararat u. s. w. Berl. 1834.

3 Kephalides de maris Caspii historia. p. 188. Vergl. Ritter's Erdkunde Th. II. S. 697.

Digitized by Google

cher Breite, die gleichfalls keinen Abfluſs haben, zeichnen diese von West nach Ost liegende Länderstrecke aus, als der *Aksakul*, welcher den Turgaifluſs aufnimmt, ein anderer See, in welchen der Sarasu mündet, der *Issikul*, aus welchem der Tschui flieſst, der nach einem langen Laufe im Sande und in einem kleinern See versiegt, der *Balkasch*, der den Ili aufnimmt, der *Alagul*, *Gobdo-Khota*, *Ubsa*, *Kussugul*, kleiner von Umfange, und der gröſsere *Baikal*, in welchen aufser vielen kleinern drei schiffbare Ströme flieſsen, die obere Angara, der Bargouzin und die Salenga, während blofs die untere Angara ausflieſst[1], hauptsächlich aber ist in dieser Beziehung merkwürdig der südlicher liegende See *Lop*, in welchen sich alles Wasser der westlichen Wüste Gobi sammelt, was grofsentheils durch den Tarim zugeführt wird, ohne irgend einen Abfluſs. Der bereits genannte *Urumea* oder *Urmia* in Persien nimmt 14 kleine Flüsse auf, ohne Wasser abzugeben, und dennoch vermindert sich seine Höhe fortwährend[2]. Eine gleiche Bewandtnifs hat es mit dem nicht weit entfernten, noch etwas gröſseren See *Ardsich* oder *Wan*. In das *todte Meer* ergieſsen sich die Flüsse Jordan, Kedron, Arnon und Jared, der *Titicaca* in Südamerica nimmt 10 grofse und viele kleine Flüsse auf, der *Tacarigua*[3] in Valencia 20 gröſsere und kleinere, z. B. den Rios de Aragua, Turmero, Maracai, Tapatapa, Aguas calientes, Mariara, Cura, Guacaro, Guataparo, Valencia, Canno grande de Camburi u. a. und dennoch haben diese keinen sichtbaren Abfluſs. Dagegen speiset der *Yberasee* in Südamerica vier ansehnliche Flüsse und seine Verdunstung wird bei einem Flächeninhalte von wenigstens 1000 Quadratseemeilen auf mehr als 70000 Tonnen täglich angeschlagen, aber dennoch erhält er sein Wasser blofs durch unterirdischen Zufluſs, vermuthlich aus dem Parana. Er ist durchaus mit Wasserpflanzen, Buschwerk, selbst Bäumen so sehr angefüllt, dafs man nicht einmal bis zur Mitte desselben

---

1 Malte-Brun Nouv. Ann. des Voyages. 1825. Avr. p. 106.

2 Kinneir A geographical Memoir of the Persian Empire. Lond. 1813. p. 155.

3 G. LXXXIX. 516. Dauxion Lavaysse Reisen nach d. Inseln Trinidad u. s. w. D. Ueb. 8. 322.

Digitized by Google

vordringen kann, was zu mancherlei Sagen von dort lebenden Zwergen u. s. w. Veranlassung gegeben hat[1].

Die Wellen der Seen sind der Gröfse ihrer Oberflächen proportional und werden bei den gröfsern, z. B. den nordamericanischen und den asiatischen, namentlich beim Kaspischen, denen der gröfsern Meere gleich, Ebbe und Fluth können sie jedoch nicht haben und hiervon findet sich nach Henry Whiting[2] auch selbst bei den grofsen americanischen nicht die geringste Spur. Sonstige Bewegungen, die man bei verschiedenen Seen wahrgenommen haben will, beruhn auf zu wenig verbürgten Nachrichten, als dafs man mit Sicherheit über ihre Ursachen entscheiden könnte, doch mögen einige derselben wohl den *Seiches* des Genfersees gleichen, wenigstens wird dieses wahrscheinlich aus dem, was Bergmann[3] von den Schwankungen des Wettersees erzählt, die oft ohne bekannte Ursache unvermuthet und bei Windstille eintreten sollen. Bei den nordamericanischen Seen[4] sollen aber eigenthümliche Schwankungen statt finden, weder von der Ebbe und Fluth, noch auch von Stürmen abhängend, die einige für regelmäfsig und periodisch wiederkehrend halten. Sie sind schon in sehr alten Zeiten, zuerst durch La Hontan 1689 beobachtet worden und sollen bei manchen in jeder Stunde, ja sogar noch öfter wechseln, andere Beobachter wollen eine regelmäfsige Ebbe und Fluth wahrgenommen haben; die meisten aber suchen die Ursache dieser häufigen Schwankungen in einem ungleichen Luftdrucke auf die grofse Wasserfläche, ohne dafs die Beobachtungen genügen, mit Bestimmtheit hierüber zu entscheiden. Leichter erklärlich ist, dafs namentlich der See *Erie*, und so auch die übrigen, im März anfängt zu steigen, von Mitte Juli aber wieder zu sinken, was eine Folge des schmelzenden Schnees und des vielen Regens ist. Aufserdem pflegt der nämliche See periodisch und etliche Fufs zu steigen und wieder zu fallen, doch ist man über die Dauer dieser Perioden noch nicht einig, indem einige sie auf zwei, andere auf fünf und noch andere auf sieben Jahre setzen.

---

1 Voyages dans l'Amérique meridionale, par Don Felix de Azara. T. I. p. 80.

2 Silliman Amer. Journ. T. XX. p. 205.

3 Physikal. Beschreibung d. Erdkugel. S. 346.

4 De Witt Clinton in Edinburgh Journ. of Sc. N. XIV. 290.

Digitized by Google

Aus allen Angaben scheint mir hervorzugehn, dafs diese Veränderung der Höhe des Wasserspiegels vom allgemeinen Charakter der Witterung abhängt, jenachdem die Jahre anhaltend nafs oder trocken sind, in welcher Beziehung bekanntlich kein regelmäfsig periodischer Wechsel statt findet. Rücksichtlich einzelner, regellos wiederkehrender, bedeutender örtlicher Anschwellungen läfst sich mit Grund annehmen, dafs sie den *Seiches* des Genfersees gleich oder mindestens ähnlich sind.

Die genannten, nicht periodischen Oscillationen des Wasserspiegels, die mit diesem ihrem eigenthümlichen Namen blofs beim *Genfersee* bezeichnet zu werden pflegen, sind bei diesem zwar am auffallendsten vorhanden, finden sich übrigens aber auch bei sonstigen Schweizerseen, dem Zürchersee, dem Bodensee, dem See von Annecy u. s. w., auch beim Lago maggiore; sie sind unabhängig von dem mit dem Schmelzen des Schnees verbundenen Steigen derselben und gehören daher ohne Zweifel unter die nämliche Classe, als die an sonstigen Seen beobachteten regellosen Schwankungen, die blofs geringer seyn mögen und daher weniger genau beachtet wurden, wie sie sich denn am Genfersee auch deutlicher, als an den übrigen zeigen. Aber auch bei diesem sind sie blofs in der Nähe von Genf, wo der See seinen Abflufs hat, am stärksten, zwei Stunden von der Stadt beträgt ihre Höhe nur einige Zoll und beim Einflufs der Rhone nur wenige Linien. Sie wurden zuerst genauer durch Saussure[1] beobachtet, dessen Mittheilungen darüber von vielen spätern Schriftstellern wiederholt worden sind, früher haben Fatio de Duiliers[2] das Phänomen von heftigen Winden, Jallabert[3] aus einem plötzlichen Anwachsen der Arve, Bertrand[4] aber aus elektrischen Wolken abgeleitet, welche das Wasser anzögen und dadurch an denjenigen Orten, wo die Ufer einander am nächsten sind, so viel stärker in die Höhe zu heben vermöchten. Dafs aber alle diese Erklärungen unzulässig und mit den Thatsachen nicht übereinstimmend sind, hat schon de Saus-

1 Voyages cet. T. I. p. 12.
2 In Spon's Geschichte von Genf.
3 Mém. de l'Acad. de Paris. 1741.
4 Mémoires inédites. Vergl. Senné in Journ. des Savans. 1763.

sure genügend dargethan, welcher einen verschiedenen Luftdruck auf die Oberfläche des Wassers als eigentliche Ursache betrachtet. Dieser giebt im Allgemeinen an, dafs der See an stürmischen Tagen während einiger Stunden mehrmals zu 4 bis 5 Fufs ansteigt und wieder fällt. Speciell beschreibt er das Phänomen[1], wie er es am 3. Aug. 1763 beobachtet hat. Um 5 Uhr Abends fiel das Wasser binnen 15 Minuten um 4 Fufs 9 Lin., stieg bald darauf während 10 Minuten um 4 F. 6 Z. 9 Lin., fiel dann wieder binnen 12 Minuten um 4 F. 2 Z. 9 Linien. Bei der dritten Oscillation stieg es nur 2 F. 8 Z. 9 Lin. während 8 Minuten und fiel dann langsam wieder. Um 3 Uhr war zwar ein Gewitter gewesen, allein zur Zeit der Erscheinung fielen blofs einige Regentropfen und es war fast Windstille.

Die ausführlichsten und gehaltreichsten Untersuchungen über dieses Phänomen hat Vaucher[2] aus langjährigen Beobachtungen geliefert. Hiernach sind die Seiches im Genfersee blofs bedeutender, indem das Wasser oft innerhalb 15 bis 20 Minuten um 3, 4 und selbst 5 Fufs steigt, statt dafs die Schwankungen in andern Seen nur ebenso viele Zolle, ja selbst Linien betragen und nur am Pegel mefsbar sind. Die angegebene Höhe erreichen sie jedoch nur unweit Genf, wo der See am schmalsten ist, indem sie an den breitern Stellen die auch sonst wahrnehmbare nicht übersteigt. Ihr Erscheinen ist gänzlich unbestimmt, erfolgt jedoch häufiger am Tage als bei Nacht, am meisten zur Zeit der Nachtgleichen und namentlich am Ende des Sommers, wenn das Wasser überhaupt am höchsten steht. Sie dauern wenige Minuten, selten über 20, sind von keinem Wellenschlage oder Strömungen des Wassers begleitet, scheinen mit der Temperatur in keinem Zusammenhange zu stehn, sind aber bei veränderlichem Wetter am häufigsten, gelten bei den Fischern für Vorboten der Wetterveränderungen und werden vorzüglich dann bemerkt,

---

1 Hist. de l'Acad. 1736. p. 18.

2 Bulletin des Sciences de la Soc. philom. N. 96. Daraus in Voigt Mag. Th. X. S. 503. G. XXXIII. 339. Vergl. Hertha Th. IX. S. 232. Am vollständigsten in Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire natur. de Genève. T. IV. part. 1. Daraus in Bibl. univ. 1833. Août. p. 353. und in Edinb. New Phil. Journ. XXXIV. p. 285.

Digitized by Google

wenn die Sonne aus dunkeln Wolken hervortritt und hell zu scheinen anfängt.

Vaucher erklärt das Phänomen im Ganzen wie de Saussure, jedoch mit einiger Erweiterung. Die Ursache liegt in einem ungleichen atmosphärischen Drucke, insofern letzterer Veränderungen unterliegt, die unter andern namentlich durch Wechsel der Temperatur erzeugt werden können und das stete Schwanken feiner Barometer zur Folge haben. Nach Saussure würde eine Temperaturverminderung von 3 Graden eine Verminderung der Barometerhöhe von 0,85 Linien herbeiführen können, und Wechsel dieser Art giebt es namentlich in bergigen Gegenden viele, hauptsächlich im Frühlinge und Herbste, um welche Zeit die hierdurch unmittelbar erzeugten gewöhnlichen Seiches am zahlreichsten sind. Dafs aber die Hebungen des Wassers an den schmalern Enden der Seen am stärksten sind, folgt einfach daraus, dafs das anfangs gehobene und wieder sinkende oder das ursprünglich mehr niedergedrückte Wasser aus den weitern Räumen in die engern zusammengedrängt nothwendig hier höher steigen mufs, wie dieses auch bei ungleich weiten communicirenden Röhren statt findet[1]. Es ist aber eben am schmalsten Ende des Genfersees, dafs das Wasser zu der angegebenen bedeutenden Höhe ansteigt, wogegen an den breitern Theilen die Erhebung nicht höher, als bei andern Seen zu seyn pflegt, und ebendieses zeigt sich auf gleiche Weise auch am Bodensee und Zürchersee, wo die Seiches nächst dem Genfersee am stärksten sind. Eine zweite specielle Bedingung findet Vaucher in der Neigung gegen den Horizont, welche die Oberflächen aller abfliefsenden Seen haben müssen, wonach also ein Ansteigen in der Gegend des Ausflusses statt finden mufs, wenn dieser gehindert wird, und da dieses bei allgemein höherem Wasserstande am leichtesten statt finden kann, so sind eben deswegen die Seiches zur Zeit der Nachtgleichen am stärksten.

Nicholson[2] findet die hier gegebene Erklärung unzulässig, weil für die kurze Zeitdauer der Seiches eine der Erhebung proportionale Veränderung des Luftdruckes nicht statt

---

1 Weit mehr zur Versinnlichung dienen die Erscheinungen bei den *Sprungkegeln*. S. diesen Art.

2 G. XXXIII. 350.

finden könne, da selbst ein Wechsel der Barometerhöhe von ¼ Zoll nur 7 Zoll Wasserhöhe geben könnte, wobei jedoch auf die örtlichen Bedingungen nicht Rücksicht genommen worden ist. Vielmehr soll die Ursache in einem Wechsel des Verhältnisses der ein- und ausfliefsenden Wassermasse liegen, wodurch ein Steigen und Sinken erzeugt wird und auch nach dem Aufhören der wirkenden Ursache noch fortdauert, weswegen die Seiches zur Zeit der Nachtgleichen am stärksten seyn müfsten. Diese Erklärung hat allerdings einigen Schein für sich, die angegebene Ursache könnte aber keine so schnellen Wirkungen hervorbringen und stimmt auch übrigens mit den Thatsachen nicht überein. Sartorius[1] leitet das ganze Phänomen von Strömungen in der Tiefe über Unebenheiten ab, die auch bei Flüssen Erhebungen über den ebenen Spiegel erzeugen; allein dann müfste bei stets vorhanden seyender Ursache auch die Wirkung ohne Unterbrechung fordauern, die Ursachen periodisch und regellos wiederkehrender Strömungen, sowie der erforderlichen Hindernisse auf dem Boden des Sees sind aber nicht genügend nachgewiesen.

Vaucher bemerkt, dafs aufserdem beim Genfersee und andern zuweilen einige Strecken mit kleinen krausen Wellen bedeckt sind, während andere, nahe dabei befindliche eine glatte Oberfläche zeigen. Die Fischer nennen dieses *Fontainen* und sie sind sicher eine Folge partieller Luftbewegungen. Nicholson und Horsburgh nahmen ebendieses Phänomen auch auf der See wahr. Auffallend und schwer zu erklären ist das Phänomen, was Vaucher am Genfersee, Escher am Zürchersee und Patrin am Baikal als zwar selten, aber doch sicher vorkommend wahrgenommen haben, nämlich einen donnerähnlichen Schall, welcher an heifsen Sommerabenden gehört wird, worauf dann nach Escher's Behauptung allezeit nach ½ oder ¾ Minuten eine Luftblase von etwa 1 Fufs Durchmesser aus dem Wasser aufstieg. Nicholson bemerkt hierbei, dafs selbst die wenige, aus dem Munde der Taucher aufsteigende Luft, wenn sie sich in 15 bis 20 Fufs Tiefe befinden, ein beträchtliches Getöse erregt, allein dieses ist leichter erklärlich, als woher eine so beträchtliche Luftmasse plötzlich ihren Ursprung erhalten mag.

---

1 Voigt Mag. Th. XII. S. 57.

Digitized by Google

Die Temperatur des Wassers der Seen richtet sich im Allgemeinen theils nach derjenigen der Jahreszeiten, theils nach der mittlern der Gegenden, wo sie sich befinden. Dieses scheint so natürlich zu seyn, dafs man es als einzige Regel zu betrachten sich geneigt fühlt, allein die schlechte Wärmeleitungsfähigkeit des Wassers ändert sie bedeutend ab. Hiernach ist vorzüglich nur die Temperatur der Oberfläche veränderlich, auch macht die Beschaffenheit des Wassers einen bedeutenden Unterschied. Die gröfsten Seen, als der Kaspische, der Aral- und Baikalsee verhalten sich ohne Zweifel in dieser Beziehung wie die gröfsern Meere, hauptsächlich auch diejenigen, welche Salzwasser enthalten. Die kleinen und nicht tiefen Süfswasserseen gleichen mehr den Flüssen, werden im Sommer beträchtlich erwärmt und erhalten im Winter eine Eisdecke, die mit zunehmender Dicke das tiefere Wasser zunehmend gegen die Einwirkung der Kälte schützt. Die tieferen Seen aber bieten eine Eigenthümlichkeit der, die eine nähere Betrachtung verdient. Das reine Wasser wird nämlich zwar, wie alle Körper, durch Wärme ausgedehnt, zugleich also specifisch leichter, das auf der Oberfläche erwärmte Wasser wird daher nicht herabsinken, wohl aber dasjenige aufsteigen, was vom Boden Wärme annimmt. Indem aber das Wasser bei 3°,78 C. seine gröfste Dichtigkeit hat, so sinkt das bis zu diesem Grade erwärmte nach dem Aufthauen herab, das kältere kommt empor, wird an der Oberfläche gleichfalls erwärmt, und dieses dauert so lange, bis das obere über diesen Punct hinaus erwärmt ist. Hieraus entsteht aber die natürliche Folge, dafs im Sommer und Herbst das Wasser der Seen oben erwärmt wird, mit zunehmender Tiefe sich kälter zeigt, dann dem Puncte der gröfsten Dichtigkeit nahe kommt und diese Temperatur bis zur gröfsten Tiefe beibehält, wenn gleich der Boden an manchen Orten die mittlere Erdtemperatur der Gegend haben und daher dem ihn berührenden Wasser Wärme abgeben müfste, welches jedoch dadurch gehindert wird, dafs bei der Tiefe der Seen durch die Länge der Zeit diese Quelle bereits erschöpft ist. Diese aus der Theorie entnommenen Folgerungen fand D'Urville[1] bei seinen

1 Bibl. univ. 1833. Nov. p. 323. Ebendieses fand auch früher schon B. de Saussure, dessen Messungen bei 10 Alpenseen mit gro-

zahlreichen Messungen der Temperaturen der Schweizerseen vollkommen bestätigt.

Von diesen allgemeinen Regeln entstehn durch örtliche Bedingungen zahlreiche Ausnahmen. Bei manchen Seen wird die Temperatur durch diejenige des in grofser Menge einströmenden Wassers, bei andern durch unterirdische, namentlich warme, Quellen bedingt, wie letzteres beim todten Meere der Fall ist, auch soll der See *Nefs* in Schottland nie gefrieren, sondern stets mit einem dicken Dampfe überdeckt seyn. Der See *Loch Monar* und ein anderer in *Straherrik* sollen nie vor dem Februar gefrieren, dann aber in einer Nacht mit einer Eisdecke überzogen werden, die später eine bedeutende Dicke erhält. Andere schottische Seen sollen stets gefroren seyn, was man von der schattigen und kalten Lage der Orte ableitet, vermöge deren die Sommerwärme die grofsen Eismassen blofs am Rande zu schmelzen vermag[1]. Einzelne Seen haben aufserdem noch manche Eigenthümlichkeiten, die allerdings von grofsem Interesse sind, hier aber nicht beigebracht werden können[2].

M.

---

fser Sorgfalt ausgeführt wurden. Vgl. G. LXVI. 144. Meistens ist die Temperatur etwas höher, als 3°,78, und könnte im Mittel nahe genau zu etwa 5° C. angenommen werden. Die etwas höhere Temperatur ist höchst wahrscheinlich eine Folge der einwirkenden Sonnenstrahlen, da die frühesten Messungen von DE SAUSSURE erst im Mai angestellt wurden. BOUGER fand die Temperatur im Oo-See bei Bagnères de la Chou, dessen Tiefe 235 par. Fufs beträgt, unten = 7°, in der Mitte = 9°, oben = 11° bei 14° bis 15° Lufttemperatur. Lond. and Edinb. Phil. Mag. 1832. Nov. p. 333. Auch die durch SCHÜBLER aus seinen Messungen im Bodensee erhaltenen Resultate stimmen mit den durch DE SAUSSURE erhaltenen überein. S. Schweigg. Journ. LIX. 81. LXV. 56. MOROZZO dagegen will beim Lac d'Orta, dem Lago maggiore und dem Lac de Margozzo höhere Temperaturen in der Tiefe von etwa 100 Fufs gefunden haben. S. Mém. de l'Ac. de Turin. T. IV.

1 MACKENZIE in Phil. Trans. N. 114. p. 307.

2 Dahin gehört z. B. die Nachricht in der Lond. Litt. Gaz. 1824. Sept. u. Hertha. Th. I. Hft. I. S. 100. von einer perennirenden Quelle in der Nähe des Niagara, die kleine Seen bildet, welche im Sommer gefroren, im Winter aber von Eis gänzlich frei seyn sollen.

Digitized by Google

Sehen.

Gesicht; *Visio, Visus;* Vision, Vue; *Sight.*

Es ist bereits in zwei Artikeln, *Auge* und *Gesicht*, alles dasjenige zusammengestellt worden, was ich über diesen Gegenstand dem Physiker Wissenswürdiges aufzufinden vermochte, denn das *Sehen* ist nichts anderes, als die Thätigkeitsäufserung des Auges oder das Gesicht; allein es sind seitdem noch einige nicht unwichtige Thatsachen hinzugekommen, die ich hier nachzutragen für geeignet halte, um diesem Werke die nöthige Vollständigkeit bei einem so wichtigen Gegenstande nicht fehlen zu lassen. Man darf daher hier nichts anderes als Nachträge zu den bereits mitgetheilten Untersuchungen erwarten, die ich der oben gewählten Anordnung anschliefse.

Ueber den Bau des Auges[1] und die Functionen desselben ist seitdem ein classisches Werk von Gottfried Reinhold Treviranus[2] erschienen, welches sich nicht blofs auf das Auge des Menschen, sondern auch auf die der übrigen Thierclassen erstreckt. Hierin findet man unter andern auch die Dimensionen der Augen und ihrer einzelnen Theile in gröfster Vollständigkeit nach den Messungen von Petit, Jurin, Young, Brewster, Helsham und Wintringham, insbesondere aber nach neuern sehr zahlreichen von Tiedemann und Treviranus selbst in einer Tabelle übersichtlich zusammengestellt[3]. Es ist allerdings bei vielen optischen Untersuchungen von Wichtigkeit, diese Dimensionen zu kennen, leider aber darf man auf die hierüber verschiedentlich mitgetheilten Bestimmungen nicht mit absoluter Zuversicht bauen, vielmehr ist nöthig zu wissen, dafs diese Gröfsen bei verschiedenen Individuen sehr ungleich sind, und zwar so, dafs nicht alle Theile des einen Auges mit denen eines andern in einem stets sich gleich bleibenden Verhältnisse stehn. Man sieht dieses auf den ersten Blick aus der Vergleichung der drei Au-

---

1 S. *Auge*. Bd. I. S. 527.

2 Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Sinneswerkzeuge der Menschen und der Thiere. Erst. Heft. Brem. 1828. gr. fol.

3 Die Werke der zuerst genannten Schriftsteller findet man im Art. *Auge* angegeben.

Digitized by Google

gen, an denen Treviranus seine Messungen anstellte, nämlich von einer 60jährigen Jungfrau, einem 22jährigen Matrosen und einem 30jährigen Selbstmörder, wobei noch zu bemerken ist, dafs zwar die Axe und der Durchmesser des ganzen weiblichen Auges, nicht aber die Dimensionen der übrigen Theile sämmtlich kleiner sind, als bei den männlichen Augen. Dennoch scheint es mir nicht überflüssig, die wichtigsten in der Tabelle gegebenen Mittelwerthe hier aufzunehmen, um bei etwa vorkommenden Berechnungen mindestens genäherte Bestimmungen zu haben. Die Angaben sind sämmtlich in par. Linien. Axe des ganzen Augapfels = 10,68, Durchmesser desselben = 10,71, Axe des innern Augapfels = 9,47, Durchmesser desselben = 9,5, Dicke der Sklerotica nahe bei der Axe = 0,51, am hintern Rande des Ciliarkörpers = 0,32, Dicke der Cornea in der Mitte = 0,36, am Rande = 0,48, Sehne des gröfsten äufsern horizontalen Bogens der Hornhaut = 5,33, Sinus versus desselben = 1,49, beide Gröfsen beim innern Bogen = 4,46 und 0,96, Radius jenes äufsern Bogens = 3,39, des innern = 3,16, Abstand der Linse von der Hornhaut in der Augenaxe = 1,17, Axe der Linse = 2,04, Durchmesser derselben = 4,01, Abstand des vordern Endes der Linsenaxe von ihrem Durchmesser = 0,834, des hintern = 1,208, Radius ihrer vordern Krümmung = 3,153, der hintern = 2,251, Axe des Kerns der Linse = 0,985, Durchmesser dieses Kerns = 2,15, Entfernung der vordern Fläche des Linsenkerns von der vordern Fläche der Linse in der Augenaxe = 0,475, Entfernung der hintern Fläche des Linsenkerns von der hintern Fläche der Linse in der Augenaxe = 0,72, Durchmesser des vordern Randes des Ciliarkörpers = 0,48, des hintern Randes = 8,58, Axe des Glaskörpers = 6,16, Durchmesser der Siebplatte des Sehnerven = 0,773, Abstand des Mittelpunctes der Siebplatte vom hintern Ende der innern Augenaxe = 1,317, Radius der hintern Krümmung des Glaskörpers = 5,62. Neuerdings hat auch C. Krause[1] Messungen der Theile des Auges angestellt und merkliche Abweichungen von den früher erhaltenen Resultaten gefunden; allein die Zusammenstellung der von verschiedenen Gelehrten

---

1 Poggendorff's Annalen. XXXI. 91. Vergl. Meckel Archiv. VI. 86.

Digitized by Google

angegebenen Gröfsenbestimmungen durch Treviranus zeigt deutlich, dafs die Dimensionen keineswegs bei allen Augen einander gleich sind. Nach Krause gehören die Krümmungen der Theile des Auges Curven höherer Ordnung zu, allein dieses ist bereits durch frühere Messungen gefunden worden, wobei es jedoch mit fast unüberwindlichen Schwierigkeiten verbunden ist, diese mit absoluter Schärfe zu bestimmen, wozu es noch kein mir bekanntes Mittel giebt.

Unter die sonstigen mir bekannt gewordenen Untersuchungen über den Bau des Auges gehört die Entdeckung von G. Huxsley Fielding[1], dafs die Retina nicht vom *pigmentum nigrum*, sondern von einer zarten Haut begrenzt seyn soll, was mir aber zunächst blofs in das Gebiet der Anatomie zu gehören scheint.

Ueber die Functionen des Auges, welche sämmtlich im Art. *Gesicht*[2] erläutert wurden, sind verschiedene neue Thatsachen hinzugekommen, die hier noch eine Erwähnung verdienen. Man nimmt jetzt allgemein an, dafs das Sehen der Gegenstände durch das kleine verkehrte Bild bedingt werde, welches die in das Auge fallenden Lichtstrahlen auf der Retina erzeugen, wonach also dieses Organ der eigentliche Sitz des Sehens ist. Griffiths[3] zieht dieses in Zweifel, weil er in wiederholten Versuchen des Morgens mit noch nicht geöffneten Augenliedern nach plötzlicher Erhellung die Retina selbst sah. Inzwischen lassen sich die angegebenen Erscheinungen leicht aus einem plötzlichen Reize der Retina erklären, ohne dafs es nöthig ist, dasjenige, was in Folge vieler genauer Versuche für ausgemacht gilt, deswegen wieder aufzugeben. Ebenso unhaltbar ist dessen hiermit zusammenhän-

---

1 London and Edinb. Phil. Mag. N. II. p. 113.

2 Bd. IV. S. 1364.

3 London and Edinb. Phil. Mag. N. XIX. p. 43. Brewster a. a. O. N. XXII. p. 241. erklärt die Sache richtig und erweitert die Summe der dahin gehörigen Erscheinungen. Die hierauf gleichfalls bezüglichen Versuche von W. G. Horner, wonach bei einem schräg gehaltenen Lichte das Auge die Fibern der Retina sehn soll, (s. ebend. S. 262.) kann ich nicht näher prüfen, glaube aber, dafs ungleiche Durchsichtigkeit der Sklerotica (geringes Durchscheinen) u. Reizbarkeit der Retina bei verschiedenen Augen verschiedene Erscheinungen erzeugt. Vergl. Ebend. N. XXIII. p. 354.

gende Hypothese[1], wonach alle Theile des Auges dazu dienen sollen, die zum Sehen erforderlichen Empfindungen zum Sensorium fortzupflanzen, wie auch dessen ganze Vorstellung von den Functionen der einzelnen Theile dieses Organs. Wenn aber Plagge[2] meint, das diluirte Licht, welches den uns umgebenden Raum erhellet, dringe ins Auge, werde von der hintern Fläche zurückgeworfen und das Sehen beruhe darauf, dafs dieses Licht die Gegenstände berühre, so beweist diese unbegründete Hypothese blofs eine Unkunde der bereits genügend erwiesenen Thatsachen. Ebendieses ist der Fall hinsichtlich der Einwendungen, die John Fearn[3] rücksichtlich der Erzeugung der Bilder überhaupt und insbesondere des Einfach- und Aufrechtsehens derselben gemacht hat, die auch durch D. Brewster[4] bereits wiederlegt worden sind.

Die optische Theorie des Sehens in Folge des durch das Auge auf der Netzhaut erzeugten Bildes ist im angezeigten Artikel mitgetheilt. Eine noch ausführlichere Demonstration, mit Rücksicht auf die eigenthümlichen Krümmungen der Häute und des Brechungsvermögens der durchsichtigen Theile des Auges, hat Treviranus aufgestellt, wodurch er zu dem merkwürdigen Resultate gelangt, dafs bei gröfserer Annäherung des Objectes die Brechung in Folge der Gestalt und des eigenthümlichen Brechungsvermögens der einzelnen Theile des Auges zunimmt, mithin das erzeugte Bild der Linse näher rückt, wonach also die so viel untersuchte und auf so verschiedene Weise erklärte *Adjüstirung des Auges* für das Sehen naher und ferner Gegenstände wegfallen würde. Treviranus[5] bemerkt, dafs das Auge zwar im Allgemeinen Aehnlichkeit mit der *Camera obscura* habe, allein hauptsächlich nur wegen der in beiden Apparaten anwesenden Linse, wobei jedoch die nach der Mitte zunehmende Dichtigkeit der Linse und die Zusammenziehung der Pupille die Functionen des Auges wesentlich bedinge. Allerdings gebe die Nickhaut bei einigen Thieren ein Mittel, das Auge für verschiedene Entfernungen der Ge-

---

1 London and Edinb. Phil. Mag. No. XXVII. p. 192.

2 Hecker's Archiv. 1830. Aug. S. 404.

3 A Rationale of the Laws of cerebral Vision cet. by John Fearn. Lond. 1831. 8.

4 Edinb. Journ. of Sc. N. S. N. VIII. p. 364.

5 A. a. O. S. 52.

Digitized by Google

genstände einzurichten (wie auch durch Rechnung erwiesen wird), wo sie aber fehle, würden ihre Wirkungen durch die eben genannten Eigenschaften des Auges ersetzt. Schon in seiner Biologie[1] hat Treviranus gezeigt, dafs die bisher vorgeschlagenen Mittel der Einrichtung des Auges für ungleiche Entfernungen ihrem vermeintlichen Zwecke nicht angemessen seyen, auch die angeführten Beweise für die Nothwendigkeit eines solchen Vermögens nicht genügten. Ebendieses geschieht hier hinsichtlich auf dasjenige, was später hierüber von Brewster aufgestellt worden ist; auch wird deutlich gezeigt, dafs die Gründe, woraus Joh. Müller[2] die Anwesenheit eines solchen Vermögens der Augen ableitet, nichts weiter als ein Schwanken der Augenaxen, insbesondere wenn die Augen schnell von einem Objecte auf ein anderes gerichtet werden, beweisen.

Der Hauptsatz von Treviranus, dafs in Folge des eigenthümlichen Baues des Auges und des Brechungsvermögens der Linse bei einer positiven Entfernung des strahlenden Punctes von der Linse die Refraction bis zu einer gewissen Grenze zunimmt mit der Zunahme des Einfallswinkels und der Abnahme der Entfernung, hingegen abnimmt mit der Abnahme des Einfallswinkels und der Zunahme der Entfernung, dafs also hieraus allerdings die Erzeugung von Bildern ungleich entfernter Körper erleichtert wird, hat zwar seine Richtigkeit, wie aus der geometrischen Demonstration desselben evident hervorgeht, deren Mittheilung hier zu weitläuftig seyn würde; allein dieses erstreckt sich nur bis zu einer gewissen Grenze, und da es Menschen giebt, die etwa drei bis vier Linien lange Buchstaben auf 4 Zoll und 20 Fufs Entfernung zu erkennen vermögen, so ist hierfür das angegebene Mittel ungenügend, um so mehr, als andere gleichfalls regelmäfsig gebauete und in der gehörigen Gesichtsweite deutlich sehende Augen auf weniger als 4 Zoll und auf mehr als 24 Zoll keinen Gegenstand mehr erkennen. Hier mufs doch nothwendig etwas vorhanden seyn, was den Unterschied dieser beiden Fähigkeiten bedingt und nicht im allgemeinen Baue des Auges liegt. Für

---

1 Th. VI. S. 496.

2 Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns des Menschen und der Thiere. Leipzig 1826. 8.

Digitized by Google

das Vermögen des Auges, sich selbst den ungleichen Entfernungen der Objecte anzupassen, giebt Stampfer[1] als beweisend an, dafs entfernte Gegenstände nur anfangs undeutlich scheinen, wenn man die Augen von nahen, anhaltend betrachteten, schnell auf sie richtet, was jedoch Treviranus als Folge der Unstätigkeit in der Richtung der Augenaxen ansehn würde. Beweisender ist folgende, von Beobachtungen mit dem Mikroskop hergenommene Erfahrung. Ist das Ocular mit einem Fadenkreuze versehn und stellt man das Ocular so, dafs das Bild eines geeigneten Objects nicht ganz in die Ebene des Fadenkreuzes fällt, sondern etwas vor oder hinter dasselbe, so erscheint dem Auge das Fadenkreuz deutlich, das Bild aber undeutlich, wenn man die Aufmerksamkeit vorzugsweise auf ersteres richtet; richtet man diese aber auf das Bild, so erscheint dieses plötzlich deutlich, das Fadenkreuz aber undeutlich, so dafs man wechselsweise willkürlich bald das eine, bald das andere Object deutlich sehn kann. Diese Veränderungen des Auges für Gegenstände in verschiedenen Entfernungen erfolgen mit gröfserer Leichtigkeit, wenn die Vorstellung über die jedesmalige Entfernung gleichzeitig eintritt, als wenn letzteres nicht der Fall ist.

Den überzeugendsten Beweis, dafs das Auge durch willkürliche und somit ohne Zweifel auch durch unbewufste Anstrengung zur gehörigen Erzeugung von Bildern eingerichtet werden könne und dafs sonach seine Theile sich nicht durchaus leidend verhalten, geben die Resultate folgender Versuche, die ich zur Prüfung ähnlicher Angaben von Aimé[2] einigemal und stets mit gleichem Erfolge angestellt habe. Wenn man auf weifsem Papiere einen kleinen schwarzen Punct macht, diesen mit einem Auge ansieht, dann einen Stecknadelknopf in die Gesichtslinie bringt, so wird der Punct dadurch gedeckt und verschwindet. Nähert man den Knopf dem Auge mehr, als bis wohin die Entfernung des deutlichen Sehens oder des eigentlichen Sehens überhaupt reicht (wo keine Erzeugung eines Bildes auf der Retina mehr möglich ist), bis

---

1 Jahrbücher des polytechnischen Instituts in Wien. Th. XVII. S. 35. Einen vollständig überzeugenden Beweis liefert dessen weiter unten beschriebenes Optometer.

2 Ann. Chim. et Phys. 1834. Mai. L'Institut 1834. N. 72.

Digitized by Google

auf 3 und selbst 2 Zoll oder noch darunter, so wird der Stecknadelknopf scheinbar transparent, oder man sieht zwei undeutliche Knöpfe mit zwei Stielen und einem transparenten Zwischenraume, und der Punct wird durch das undeutliche Bild des Knopfes deutlich gesehn, meistens einfach, zuweilen auch, wie Aimé als allgemein angiebt, doppelt und für Augenblicke selbst drei- oder vierfach. Je mehr man das Auge anstrengt, den Stecknadelknopf deutlich zu sehn, desto mehr vereinigen sich die beiden Bilder der Stecknadel, sie wird zunehmend undurchsichtiger und der Punct verschwindet. Hierbei gewahrt man deutlich sowohl die statt findende Anstrengung, als auch deren Erfolg, indem abwechselnd das durchsichtige doppelte Bild in ein einfaches undurchsichtiges übergeht. Auffallend war mir bei diesen Versuchen, dafs mein Auge, so fügsam dasselbe übrigens ist und das Sehen durch Fernröhre, Mikroskope und Loupen, ebenso wie das Probiren der verschiedensten Brillen ohne Unannehmlichkeit erträgt, jederzeit unangenehm und einige Male andauernd schmerzhaft afficirt wurde, worin ich einen Beweis der Richtigkeit einer nichts weniger als allgemein angenommenen Behauptung finde, dafs mit der Theorie übereinstimmend das Sehen durch optische Werkzeuge, ebenso wie im Zwielicht und im Dunkeln, so weit es nur möglich ist, *an sich* nicht schadet, sondern blofs durch die Anstrengung, welcher man die Organe des Auges unterwirft, um ein deutliches oder helleres Bild zu erzeugen.

Weitere Versuche zur Auffindung der Mittel, deren sich die Natur bedient, um das Auge für die verschiedenen Entfernungen der gesehenen Objecte einzurichten, sind mir nicht bekannt geworden, denn was Morton[1] hierüber sagt, enthält nichts Neues, zeigt vielmehr seine Unbekanntschaft mit den frühern Arbeiten über diesen Gegenstand. Weit gehaltreicher sind die Untersuchungen von Joslin[2], erschöpfen jedoch den Gegenstand nicht und führen zu keinem entscheidenden Resultate. Als er zum Behuf physiologischer Versuche die Pupille seines einen Auges mit Stramonium erweitert hatte, fand er, dafs alle nahe Gegenstände ihm undeutlich erschienen, aber

1 Amer. Journ. of the med. Sc. N. XVII. p. 51. von 1831.

2 Aus American Journal of the medical Sciences in Froriep Notizen Th. XXXVI. S. 161.

nicht die fernen. Hiernach schliefst er, dafs die Fernsichtigkeit mit der Erweiterung der Pupille verbunden und durch diese insofern bedingt sey, als die Ciliarfortsätze, die mit der Linsenkapsel im lebenden Zustande fest zusammenhängen sollen, die Gestalt der Krystalllinse abändern. Dafs die veränderliche Weite der Pupille mit dem Sehen in ungleicher Ferne zusammenhänge, ist wohl nicht zu bezweifeln, ebenso erwiesen ist jedoch zugleich, dafs beide einander nicht absolut bedingen.

Hiermit zusammenhängend ist die Fähigkeit des menschlichen Auges, unter dem Wasser zu sehn, welche Aufgabe bereits[1] ausführlich erörtert worden ist. Wenn *Treviranus*[2] das gefundene Resultat, dafs ein *eigentliches* Sehen unter Wasser *unmöglich* sey, aus dem Grunde für unzulässig erklärt, weil die Linse die unter Wasser in einem kleinern Winkel auf sie fallenden Lichtstrahlen stärker breche und dadurch die fehlende Brechung durch die Hornhaut in gewissem Mafse ersetze, so ist Letzteres allerdings der Fall, jedoch nur in gewissem und nicht in dem Mafse, dafs hierdurch ein eigentliches Sehen in Folge auf der Netzhaut erzeugter scharfer Bilder möglich würde. Allerdings liefse sich von einem Kurzsichtigen mit einer Gesichtsweite des deutlichen Sehens von etwa 4 Zoll sagen, er könne gewöhnliche Buchstaben in einem Abstande von etwa 24 Zoll *sehen*, sofern er etwas Schwarzes auf weifsem Grunde wahrnimmt, allein dennoch wird man dieses kein *eigentliches* Sehen nennen. Diesem gemäfs ergiebt auch die Erfahrung, dafs die im Wasser ihre Nahrung findenden Thiere, als Seehunde und selbst auch Wasservögel, am Lande in einem sehr hohen Grade kurzsichtig sind[3] und daher, weil sie nicht *eigentlich* sehn können, leicht überfallen werden. Hiernach ist also die Sache klar und eine Verschiedenheit der Ansicht beruht blofs auf einer ungleichen Wortbestimmung.

Es sind die verschiedenen Mittel angegeben worden, deren man sich bedient, um die Weite des deutlichen Sehens bei verschiedenen Augen mit gröfserer Genauigkeit zu messen, na-

---

1 Art. *Gesicht*. Bd. IV. S. 1383.
2 A. a. O. S. 62.
3 Vergl. Edinb. New Phil. Journ. N. XI. p. 61.

Digitized by

mentlich ist das von Porterfield vorgeschlagene *Optometer* genau beschrieben worden[1]. Lehot[2] hat eine Vorrichtung bekannt gemacht, die sich für diesen Zweck ausnehmend gut eignet, nämlich ein mit schwarzem Sammet überzogenes langes Lineal, auf welchem ein weifser Faden ausgespannt ist. Später hat sich Holke[3] ebendieser Vorrichtung bedient und vermittelst derselben sehr interessante Resultate erhalten. Man spannt einfach einen dünnen weifsen seidenen Faden der Länge nach auf ein schwarzes, etwa 3 Fufs langes Lineal aus, hält denselben vom untern Augenliede ausgehend in horizontaler Lage und betrachtet ihn der Länge nach, so erscheint er innerhalb der Distanz des deutlichen Sehens einfach, diesseits und jenseits aber divergirend doppelt. Durch dieses Mittel läfst sich zugleich die ungleiche Sehweite beider Augen auffinden. Nach Holke war unter 14075 Fällen in 1167 das linke, in 1577 das rechte Auge kurzsichtig; dagegen in 977 das linke weitsichtig, in 1012 das rechte; beide Augen zeigten sich kurzsichtig in 3635 und weitsichtig in 3696 Fällen; Amblyopie fand in 2011 Fällen statt. Weibliche Personen sind weit häufiger weitsichtig als kurzsichtig, denn von 2330 Individuen zwischen 8 und 90 Jahren waren 1476 weitsichtig und 854 kurzsichtig. Von denen, die sich den Wissenschaften widmen, waren von 16 bis 60 Jahren 2914 kurzsichtig, 690 weitsichtig.

S. Stampfer[4] hat die bei Porterfield's *Optometer* zum Grunde liegende Idee benutzt und ein solches sehr sinnreich ausgesonnenes Werkzeug zu Stande gebracht, womit die Gesichtsweiten der Augen zur Bestimmung der erforderlichen Brillen mit ausnehmender Schärfe leicht mefsbar sind. Dieses besteht aus einer Röhre a b c d von etwa 10 Zoll Länge, in welcher sich eine zweite e f g h von derselben Länge nach Art der Zugfernröhre leicht hin- und herschieben läfst; besser aber ist es, zur Erhaltung des Parallelismus der Streifen im Instrumente und zur schnelleren Verschiebung ein Getriebe anzu- Fig. 319.

---

1 Art. *Gesicht* S. 1386.

2 Bulletin univ. des scienc. math. 1829. Nov. p. 417. Vgl. Wiener Zeitschrift. VII. 453.

3 Disquisitio de acie oculi sinistri et dextri. Lips. 1830.

4 Jahrb. des Wiener polyt. Instituts. Th. XVII. S. 35.

Digitized by Google

bringen, wodurch diese bewirkt wird. Bei ad befindet sich eine Convexlinse von etwa 5 Zoll Brennweite, die bis auf zwei schmale Einschnitte bedeckt ist. Beide Einschnitte sind unter sich parallel und 0,4 bis 0,5 Linien von einander abstehend; ihre Länge beträgt etwa 3, ihre Breite $\frac{1}{3}$ Linien. Die innere Röhre ist bei eh durch ein Blech geschlossen, in welchem sich eine mit den eben angegebenen genau parallele Spalte von höchstens 0,05 Lin. befindet, und bei fg ist das Ganze durch ein mattgeschliffenes Planglas geschlossen. Dieses so gebaute Instrument wird wie ein Fernrohr gegen das Tagslicht gehalten, und dann erblickt das Auge zwei lichte Streifen, wenn beide Röhren tief in einander geschoben sind, die sich stets nähern und in eine einzige Linie zusammenfallen, wenn man die innere Röhre bis zu einer gewissen Länge herauszieht, aber wieder in zwei übergehn, wenn man die Röhre noch weiter herauszieht. Für das kurzsichtige Auge geschieht das Herausziehn weniger, für das weitsichtige mehr, und man übersieht leicht, dafs aus dem Abstande der Streifen auf ab von dem in eh, wenn das Auge nur einen Lichtstreifen wahrnimmt, die Weite des deutlichen Sehens bestimmbar ist und dafs zugleich aus diesem Abstande die Brennweite der für das abnorme Auge erforderlichen Brillengläser gefunden werden kann. Um für diesen letztern Zweck eine Scale zum mechanischen Auffinden dieser Brennweiten zu erhalten, wird die Stelle mn, bis wohin die innere Röhre für ein normales Auge hineingeschoben seyn mufs, bestimmt, indem man Personen von anerkannt gutem Gesichte hineinsehn läfst, die Röhren so weit auszieht, bis eine einzige scharfe Linie zum Vorschein kommt, dieses Verfahren bei mehrern wiederholt und nach dem mittlern Resultate die Stelle mn genau bezeichnet. Bei diesem Verfahren mufs das Ausziehn gleichmäfsig und anhaltend geschehn, man darf aber nicht, wenn zu weit herausgezogen ist, wieder zurückschieben, sondern mufs von vorn wieder anfangen; auf diese Weise betrugen bei dem wirklich ausgeführten Instrumente die Abweichungen vom Mittel nicht mehr als 0,1 Zoll.

Zur Auffindung der Scale für die Brennweiten der Brillengläser führt folgende Betrachtung. Es sey die Brennweite des Ocularglases $= g$, für das normale Auge $= p$ und der Abstand der Spalte eh vom Ocularglase hierfür $= d$; für das

Digitized by Google

abnorme Auge seyen die letzteren Gröfsen = p′ und d + x, so ist

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{g} - \frac{1}{d},$$
$$\frac{1}{p'} = \frac{1}{g} - \frac{1}{d+x}.$$

Soll dann das abnorme Auge Gegenstände, die das fehlerfreie Auge deutlich sieht, ebenso gut sehen als dieses, so mufs es ein Glas von der Brennweite = f vor sich haben, wodurch die aus der Entfernung d kommenden Strahlen ebenso einfallen, als kämen sie aus dem Abstande d + x. Hieraus folgt

$$\frac{1}{p'} = \frac{1}{g} + \frac{1}{f} - \frac{1}{d}$$

und die beiden Werthe von $\frac{1}{p'}$ einander gleich gesetzt

$$x = \frac{d^2}{f-d} \text{ oder } x' = -\frac{d^2}{f+d},$$

ersteres für eine convexe, letzteres für eine concave Linse (f negativ). Setzt man für x die Brennweite von f nach und nach = 100, 80, 60 .... Zoll, so erhält man die Abstände dieser Theilpuncte von der Linie m n nach e h hin und ebenso für x′ die negativen nach f g hin, wie sie in der Zeichnung wegen Kleinheit des Mafsstabes nicht vollständig aufgetragen sind.

Eine empirische Bestimmung der Brennweite des normalen Auges vermittelst der genau auszumittelnden Auszugsweite bis zur Linie m n ist auf jeden Fall vorzuziehn, weil die Verschiedenheiten in der Breite und dem Abstande der Ocularspalten unter sich von zu grofsem Einflusse bei jedem einzelnen Optometer sind. Bei dieser Bestimmung ist aber erforderlich, dafs das Ausziehen der inneren Röhre gleichmäfsig und stetig geschehe und das Auge nicht Zeit habe, sich für eine gröfsere oder geringere Weite des Sehens einzurichten, indem eben das Optometer deutlich beweist, dafs eine solche Fähigkeit desselben statt finde. Ist nämlich das innere Rohr etwas weniger oder etwas mehr ausgezogen, als der normalen Sehweite zukommt, und das Auge sieht anhaltend in das Instrument, so gehen die zwei Streifen allmälig in einen einzelnen über; entfernt man aber das Auge und läfst man es ein

wenig ausruhen, damit es sich wieder auf seine normale Sehweite einstellt, und sieht man dann abermals hinein, so kommen die beiden Streifen wieder zum Vorschein. Die Gröfse d läfst sich auch auf folgende Weise bestimmen. Ist sie einmal für das gesunde normale Auge gefunden, so setze man eine convexe Linse von genau gemessener, 3 bis 5 Zoll betragender Brennweite = f vor und bestimme abermals die Gröfse d durch die nämlichen Personen. Heifst dann der genau gemessene Unterschied beider Abstände = x, so findet man

$$x = \frac{d^2}{f+d} \text{ und hieraus } d = \tfrac{1}{2}x \sqrt{fx = \tfrac{1}{4}x^2}.$$

Der Gebrauch des Instruments ist einfach folgender. Wenn das abnorme Auge hineinsieht, so verschiebt man das innere Rohr so lange, bis der innere Spalt scharf begrenzt einfach erscheint, und dann giebt die Zahl der Scale die positive oder negative Brennweite des erforderlichen Augenglases unmittelbar an. Man thut wohl, diesen Versuch mehrmals zu wiederholen und aus den erhaltenen Resultaten das mittlere zu nehmen, auch in den Zwischenzeiten das Auge ausruhen zu lassen; überhaupt mufs das Auge bei allen Versuchen mit diesem Instrumente nicht ermüdet und nicht gereizt seyn. Sieht ein abnormes Auge mit vorgehaltenem Brillenglase in das Instrument, so mufs die Auszugsweite auf m n treffen; ist das Correctionsglas aber ungenügend, so giebt die Scale die Brennweite desjenigen an, welches noch hinzukommen mufs, um die normale Gesichtsweite herzustellen, und zwar eines von derselben Art, als das angewandte, oder eines entgegengesetzten. Sieht ein normales Auge mit vorgehaltenem Correctionsglase in das Instrument und wird die innere Röhre so gestellt, dafs nur ein einfacher Streif erscheint, so giebt die zugehörige Zahl der Scale die Brennweite dieses Glases an.

Es lassen sich nicht füglich die sämmtlichen Theilstriche der Scale auf einer Röhre vereinigen, weil für weitsichtige Augen die Spalte e h nicht weiter, als bis an das Ende der äufseren Röhren gebracht werden kann. Heifst nämlich die gröfstmögliche Länge der Scale von m n bis e h = l, so ist

$$l = \frac{d^2}{f-d} \text{ und } f = d + \frac{d^2}{l};$$

l wird also so viel kleiner, je gröfser d wird, und um so weniger weit kann die Skale der Covexlinsen die kurzen Brenn-

Digitized by Google

weiten angeben. Man mufs daher den Punct m n beträchtlich aus der Mitte der eingeschobenen Röhre bringen, was durch eine Ocularlinse a d von kürzerer Brennweite erreicht wird. Bei dem ausgeführten Instrumente beträgt die Länge von m n bis f g 3,7 Zoll, von m n bis e h 5,5 Zoll. Von der andern Seite ist es wünschenswerth, die Gröfse d nicht zu klein zu machen, damit die Theile der Scale gröfser werden. Um beide Bedingungen zu vereinigen, ist es zweckmäfsig, zwei Ocularlinsen anzubringen, die man mit einander vertauschen kann und deren Brennweiten etwa 7 und 2,5 Zoll betragen, für beide den Punct m n zu bestimmen und aus dem Werthe von d beide Scalen zu berechnen, die dann, auf die Röhre aufgetragen, die Brennweiten der convexen Brillengläser, die erstere für weniger, die letztere für stark gekrümmte, gaben.

Eine Bemerkung von Tortual[1], die sich auf die Erzeugung der Bilder auf der Netzhaut bezieht, verdient hier noch kurz erwähnt zu werden. Beim kurzsichtigen Auge erreicht bekanntlich das im Auge erzeugte Bild die Retina nicht, sondern die zur Erzeugung desselben erforderlichen Brennpuncte fallen vor dieselbe und die Strahlen werden dann wieder divergirend. Tortual nennt die Bilder, die durch letztere erzeugt werden, *Zerstreuungsbilder* und will gefunden haben, dafs diese verschwinden, wenn man den Augapfel gelinde drückt, was mit der Theorie recht gut übereinstimmt. Die weiteren Betrachtungen über diese Zerstreuungsbilder können hier nicht mitgetheilt werden.

Rücksichtlich der zur Compensation der fehlerhaften Gesichtsweite erforderlichen Brillen ist erwähnt worden[2], dafs man das zu grelle Licht bei empfindlichen Augen durch die Anwendung schwach grün gefärbter Gläser zu mildern gesucht hat, die zwar den Gegenständen leicht eine etwas schmutzige Farbe geben, aber dennoch die gröfsere Unbequemlichkeit eines zu starken Lichtreizes beseitigen und daher namentlich beim längeren Verweilen auf Gletschern ganz unentbehrlich sind[3]. Man hat aber neuerdings die Anwendung schwach blau gefärbter Gläser vorzüglicher gefunden, welche hauptsächlich das von

1 Hecker's Ann. 1829. Oct. p. 69.
2 Art. *Gesicht* Bd. IV. S. 1409.
3 Barry in Edinb. Phil. Journ. N. S.; N. XXXV. p. 111.

Digitized by Google

weifsen Wänden (namentlich der Häuser in grofsen Städten), von Schneefeldern, sandigen und kalkhaltigen Flächen reflectirte, ins Gelbliche spielende grelle Licht bedeutend mildern. Man hat aber mit Recht die Unannehmlichkeit bemerkt, dafs insbesondere die stark compensirenden Gläser ungleich dick seyn müssen und daher an einigen Stellen farbiger und weniger Licht durchlassend sind, als an andern, weswegen man wohl vor die eigentlichen weifsen Brillengläser gefärbte, zum Zurückschlagen eingerichtete Plangläser zu befestigen pflegte. Weil aber diese nicht blofs unangenehm sind, sondern auch wegen der zwischen beiden Gläsern befindlichen Luftschicht einige Undeutlichkeit der Bilder herbeiführen, so hat Chevallier das farblose und blaue Glas so vereinigt, dafs solche Gläser ein gleichfarbiges, die Lichtstrahlen durchaus gleichmäfsig brechendes Ganzes ausmachen. Besonders für das starke, gelbröthlich gefärbte Kerzenlicht sind solche sogenannte *isochromatische* Brillen sehr zu empfehlen[1].

Unter die ausführlich bereits[2] abgehandelten Gesichtsfehler gehört das falsche Sehen (*Pseudoblepsis*), wovon es zwei Arten giebt, das Sehen von Gegenständen, die gar nicht existiren (*Ps. imaginaria*), und das Sehen der Gegenstände anders als sie wirklich sind (*Ps. mutans*); über beide sind einige der Beachtung werthe Thatsachen hinzugekommen. Die Erzählung vom Sehen verschiedener Gestalten, die einer englischen Dame erschienen, welche zugleich auch deutlich Töne zu hören glaubte[3], die nicht vorhanden seyn konnten, gehört vermuthlich gar nicht in das Gebiet der Physik, weil unter Voraussetzung völliger Wahrheit das Ganze blofs als ein Spiel der krankhaften Phantasie zu betrachten ist. Mehrere Erscheinungen, welche Brewster[4] in Beziehung auf das Sehen von Gegenständen, die nicht wirklich oder nicht als solche vorhanden sind und die er im Allgemeinen auf Undulationen der Retina bei der Einwirkung leuchtender Puncte und Linien zurückführt, sind von zu verschiedener Art und zu zahlreich, als dafs ich sie mittheilen und einzeln erklären sollte, da sie

---

1 Auch Plöfsl in Wien verfertigt sie von vorzüglicher Güte. S. Wiener Zeitschrift. Th. II. S. 281.

2 Bd. IV. S. 1421.

3 Edinb. Journ. of Sc. N. Ser. N. IV. p. 218. und 319. N. VI. p. 241.

4 London and Edinb. Phil. Mag. N. III. p. 169.

Digitized by

ähnlichen bereits bekannten zugehören. Die meisten derselben beziehen sich auf die wechselnden farbigen Strahlen, die das Auge in Folge der Beugung wahrnimmt, wenn das Licht von der Sonne oder einem sonstigen hell strahlenden Puncte durch enge Risse und Spalten, als einen Kamm, die Fahne einer Feder oder ähnliche einander nahe Oeffnungen, fällt, andere gehören zu den subjectiven Bildern, die bei starker Reizung der Retina sich nach Entfernung der gesehenen Objecte zeigen u. s. w. Solche subjective Bilder oder, indem man meistens nur ihre Farbe beachtet, *subjective* Farben, gewöhnlich *physiologische* Farben genannt, zeigen sich sehr häufig und beruhen auf den nämlichen Gründen als die gefärbten Schatten, wie bereits ausführlich gezeigt worden ist[1]. Hierhin gehören auch die Beobachtungen des Grafen Platen[2], interessanter aber ist, dafs schon Newton[3] die Bilder beachtet hat, die durch einen Druck auf den Augapfel erzeugt werden und auch bei nachlassendem Drucke noch fortdauern. Das entstehende Bild soll dem Sterne auf der Pfauenfeder gleichen, Brewster[4] hat aber bei seinen Versuchen gefunden, dafs stets nur Schwarz und Weifs mit einer allgemeinen rothen Färbung zum Vorschein kommen. Nach den einander nicht stets gleichen Bildern, die durch solche mechanische Pressungen des Auges von verschiedenen Beobachtern wahrgenommen wurden, wird man veranlafst zu vermuthen, dafs die Stärke dieser, durch einen mechanischen Reiz der Netzhaut erzeugten, Lichterscheinungen und die geringere oder stärkere Färbung von der eigenthümlichen Reizbarkeit der individuellen Augen herrühre. Dahin gehört auch die Bemerkung von Brewster, dafs nach dem Anblick der Sonne ein nelkenbraunes Spectrum vor den Augen erscheint, welches durch einen Druck gegen einen andern Theil der Netzhaut grün wird, nach dem Aufhören des Druckes aber wieder braun erscheint. Ein anhaltender Druck gegen das Auge erzeugt oft einen bleibenden schwarzen Fleck vor dem Auge, aber auch krankhafte Affectionen des Körpers, namentlich des Magens, bewirken einen Druck der Blutgefäfse gegen die Retina und erzeugen dadurch im Dunkeln einen

1 S. Art. *Farben*, physiologische. Bd. IV. S. 118.
2 Neue Schriften der naturf. Freunde. Th. I. S. 344.
3 Optice. Quaest. XVII. p. 278. ed. Clarke.
4 The London and Edinb. Phil. Mag. N. II. p. 89.

Digitized by Google

schwach blauen Schein vor dem Auge, welcher bei vermehrtem Drucke in Grün, dann Gelb und selbst Roth übergeht.

Die Bilder, welche nach einem starken Lichteindrucke dem Auge vorschweben, scheinen nach einer interessanten Bemerkung Newton's[1] sogar durch psychische Einflüsse bedingt zu werden. Auf Veranlassung einer Anfrage von Locke über diese Bilder, von denen Rob. Boyle in seinem Buche über Farben redet, stellte Newton selbst Versuche an, sah wiederholt mit dem rechten Auge auf das Sonnenbild in einem Spiegel und fand, dafs die erzeugten farbigen Kreise, die vor dem Auge schwebten, allmälig verschwanden, aber wieder zum Vorschein kamen, wenn er seine Aufmerksamkeit darauf richtete. Dieses unwillkürliche Erscheinen derselben dauerte so lange fort, dafs Newton dadurch am Lesen gehindert wurde, und verlor sich nicht eher, als bis er sich einige Tage in ein dunkles Zimmer einschlofs und seine Gedanken anhaltend auf ganz andere Gegenstände richtete; er mufste sich aber Monate lang hüten, an dieselben zu denken, weil sie sonst sofort wieder zum Vorschein kamen.

Ueber die Erzeugung der *physiologischen*, *subjectiven* oder *accidentellen* Farben ist zwar bereits von Brandes[2] gehandelt worden, weil aber dieser Gegenstand unterdefs einige Erweiterungen erhalten hat, so stelle ich hier mit Beziehung auf jenes Frühere das Ganze zusammen. Dasjenige, was so eben über diese Aufgabe beigebracht worden ist, scheint von den späteren Physikern wenig beachtet worden zu seyn, obgleich die Färbung der Schatten, die hiermit in nächster Verbindung steht, schon sehr früh untersucht wurde und beide Erscheinungen meistens vereint behandelt werden. Eine vollständige Theorie gab zuerst Jurin[3], welcher als Hauptsatz annahm, dafs beim Aufhören einer stark angeregten Empfindung von selbst eine entgegengesetzte hervorgerufen werde. Am bekanntesten und am meisten beibehalten wurden nachher die Theorieen von Scheffer[4], nach welchem ein schwächerer Eindruck nach einem vorausgegangenen stärkeren gar nicht empfunden oder überhaupt ein

1 Sir Is. Newton's Leben von D. Brewster. D. Ueb. von Goldberg. Leipz. 1833. S. 263.

2 S. *Farben*. Bd. IV. S. 118.

3 Traité d'optique de Smith. Trad. de Pezenas. Tom. I.

4 Journ. de Phys. XXVI. p. 175 u. 273.

Digitized by

gereiztes Organ gegen einen fortdauernden Reiz zunehmend empfindlicher wird, und die von Darwin, welcher die beiden angegebenen Ursachen als vereint wirkend betrachtet. Beide, ebenso wie die Bemühungen von Beguelin und Büffon, nebst einigen minder bedeutenden, sind bereits erwähnt. Weniger bekannt geworden ist das, was d'Arcy[1] darüber gesagt hat, ausführlicher aber ist die Aufgabe behandelt worden durch Godart[2]. Nach diesem sind die Farbeneindrücke den Tönen zu vergleichen und steigen aufwärts vom Schwarz zum Blau, zum Grün, zum Roth, zum Gelb, bis zum Weifs. Sind also die Fibern der Retina durch irgend eine Farbe, z. B. Roth, gereizt, welche die dritte aufsteigend vom Schwarz ist, so gehen sie beim Aufhören des Eindrucks um ebenso viel wieder vom Weifs herunter und kommen also zum Grün. Als Zusatz fügt er bei, dafs eine zum Schwingen gereizte Fiber beim Aufhören des Impulses nur kurze Zeit fortfahre zu vibriren nnd dann durch Weifs zum Erzeugen der complementären Farbe gebracht werde. Dafs dieses keine eigentliche Erklärung, ein wirkliches Vibriren der Fibern der Netzhaut aber keineswegs erwiesen sey, bedarf kaum bemerkt zu werden. Prieur de la Côte d'Or[3] führt die gesammten Erscheinungen auf die Wirkung des *Contrastes* zurück, jedoch ist dieses nur ein undeutlicher Ausdruck, da er in der Hauptsache der Theorie von Scheffer huldigt. Ein Stückchen orangefarbenes Papier auf einer rothen Fläche wird gelb erscheinen, weil die rothen Lichtstrahlen aus dem Orange verschwinden und also nur die gelben zurückbleiben.

Aufser Büffon und Darwin hat auch Gergonne[4] diejenigen Fälle untersucht, in denen auf das durch eine gegebene Farbe gereizte Auge eine andere wirkt. Wenn man z. B. auf eine bei vielem Lichte betrachtete rothe Fläche schnell ein violettes Band hält, so erscheint es blau, weil das ermüdete Auge nur gegen diesen Theil seiner Farbe empfindlich ist. War die Fläche blau, so erscheint das Band roth, und ist letzteres grün, so zeigt es sich gelb, und umgekehrt blau, wenn die Fläche gelb ist; allgemein also wird aus der zusammengesetzten Farbe diejenige ausgeschieden, die der be-

1 Mém. de Paris 1765.
2 Journal de Phys. 1776. T. VIII. p. 1. und 269.
3 Annales de Chimie. T. LIV.
4 Ann. de Mathém. pures et appliq. T. XXI. p. 291.

Digitized by Google

leuchteten Fläche zugehört. Plateau bemerkt aber mit Recht, dafs dieses nur dann der Fall seyn kann, wenn eine der Farben des Bandes in der der Fläche enthalten ist, dafs aber der Erfolg ein ganz anderer seyn müsse, wenn diese Bedingung nicht statt findet, z. B. wenn die Fläche gelb und das Band roth oder wenn die Fläche grün und das Band blau ist. Nach den Resultaten seiner eigenen Versuche nimmt er daher an, dafs die physiologische Farbe, worin das Band dem Auge erscheint, eine Verbindung von derjenigen der Fläche und der complementären des Bandes sey. Auch Brewster[1] hat eine Theorie dieser Phänomene aufgestellt, die von denen seiner Vorgänger nicht unwesentlich abweicht. Nach ihm ist die erregende und die physiologisch erregte Farbe gleichzeitig in der Art vorhanden, als das Ohr aus einem gegebenen Tone einen harmonirenden bildet, jedoch wird die letztere durch die überwiegende Stärke der ersteren nicht empfunden und tritt erst nach dem Aufhören von dieser lebendig auf. Betrachtet man ein rothes Object, so ist die complementäre grüne Farbe gleichzeitig vorhanden, wird aber nicht selbstständig empfunden, sondern schwächt blofs den Eindruck der rothen. Ist der betrachtete Gegenstand z. B. ein Siegel und nähert man nach einiger Zeit dem Auge eine Lichtflamme so, dafs die vom Siegel kommenden Lichtstrahlen nahe daran vorbeigehen, so wird das gesehene Bild schwarz und nimmt eine grünliche Farbe an, die also noch während der Betrachtung zum Vorschein kommt. Scheint ferner helles Sonnenlicht in ein Zimmer von lebhafter Farbe, so nehmen die nicht so stark beleuchteten Gegenstände in demselben die complementäre Farbe an. Man übersieht jedoch bald, dafs alle diese Phänomene sich aus Scherffer's bekannter Hypothese leicht erklären lassen.

Einige interessante Untersuchungen über die Hervorrufung der subjectiven Farben im Auge hat Brockedon[2] bekannt gemacht. Nach ihm sind Roth, Gelb und Blau Hauptfarben[3]. Wenn man drei so gefärbte dicke Linien zu einem gleichsei-

1 London and Edinb. Phil. mag. N. XXIII. p. 354.

2 Quart. Journ. of Sc. N. XIV. p. 399. Wiener Zeitsch. Th. VIII. S. 471.

3 Die Meinung, diese für einfache Farben zu halten, findet man häufig; ihr stehen jedoch die Eigenthümlichkeiten der übrigen im Spectrum entgegen.

Digitized by

tigen Dreieck vereinigt, so zeigen sich an den Stellen der Verbindung die drei zusammengesetzten, Orange, Violett und Grün. Man ziehe um das Dreieck einen Ring, in diesen Radien von der Mitte jeder der 6 Farben aus, male vom Radius einer der Hauptfarben anfangend diese Farbe in den Ring bis zum nächsten Radius der Hauptfarbe abnehmend schwächer werdend, indem man sie stets mehr mit der folgenden mischt, so dafs sie also z. B. in der Mitte zwischen Roth und Gelb zum Orange u. s. w. wird. Legt man auf dieses Dreieck eine Papierscheibe mit zwei einander diametral gegenüberstehenden Längen-Ausschnitten, so dafs die Mittelpuncte der Scheibe und des Dreiecks zusammenfallen, so wedren beim Umdrehen der Scheibe um das gemeinschaftliche Centrum stets zwei complementäre Farben zum Vorschein kommen. Sieht man eine derselben lange an, und deckt sie dann mit einem Stück Papier zu, so erblickt man auf diesem die gegenüberstehende. Brockedon glaubt, dafs solche Farben vereint einen unangenehmen Eindruck machen, welche die nämliche in der complementären hervorrufen, z. B. Roth und Blau, deren erstere Grün, worin Gelb ist, und die letztere Orange hervorruft, worin gleichfalls Gelb ist. Derselbe beschreibt zugleich ein von Field verfertigtes Instrument, *Chromometer* genannt, welches aus drei Glasprismen mit Krapptinctur, einer Lösung von blauem schwefelsaurem Kupfer und Safrantinctur, gefärbt besteht. Fällt ein Lichtstrahl durch alle drei, so erscheint er weifs, je zwei verbunden geben die zugehörige zusammengesetzte Farbe. Aehnliche Wirkungen erhält man, wenn man mit beiden Augen durch zwei derselben, vor jedem Auge ein verschiedenes, die äufseren Gegenstände betrachtet.

Neuerdings hat Plateau[1] die Versuche in grofsem Umfange wiederholt, die Theorieen seiner Vorgänger geprüft und ist auf diese Weise zu einem den Erscheinungen genügenden Resultate gelangt. Insbesondere durften hierbei diejenigen Erfolge nicht unberücksichtigt bleiben, die statt finden, wenn nach

---

1 Correspondance math. et phys. par Quetelet. T. VII. p. 288. T. VIII. p. 211. Ann. Ch. et Phys. T. LIII. p. 386. Poggendorff Ann. XXXII. 543. Am vollständigsten in: Essay d'une Théorie générale comprenant l'Ensemble des apparences visuelles, qui succèdent à la contemplation des objets colorés cet. Bruxelles 1834. 4.

Digitized by Google

einem anhaltenden und starken Lichteindrucke das Auge auf eine schwarze Fläche gerichtet oder gänzlich verschlossen wird, so dafs also keine neue Farbe und kein weiteres Licht auf den Erfolg bedingend wirkt. Aus den Versuchen dieser Art geht evident hervor, dafs die Retina Farben zu erzeugen vermag, die überall nicht vorhanden sind und daher aus einem schwächeren Lichte oder aus einer Ausscheidung gewisser Farben in dem vorhandenen Lichte gar nicht entstehen können. Ein bereits durch Scherffer erwähnter, durch Plateau hervorgehobener und wiederholter Versuch verdient vorzügliche Beachtung. Breitet man einen schwarzen Shawl gegen helles Licht aus, heftet auf denselben einen Rectangel von 18 Lin. Länge und 9 Lin. Höhe, welcher in seinen zwei quadratischen Hälften mit zwei wo möglich genau complementären Farben, am besten grün und roth, bemalt ist, versieht man die Mitte jedes Quadrates mit einem schwarzen Puncte, um den Blick mehr zu fixiren, betrachtet man diese Quadrate abwechselnd secundenweise etwa bis zur Dauer einer Minute und darüber und bedeckt dann die Augen mit einem Tuche und den Händen völlig, so erscheinen drei Quadrate, zwei in den complementären Farben und ein schwarzes in der Mitte. Dieser Versuch ist nicht gerade leicht, aber es folgt aus ihm evident, dafs, wenn die Verbindung von zwei Farben ursprünglich Weifs erzeugt, aus der Vereinigung ihrer complementären im physiologischen Bilde Schwarz hervorgeht. Plateau betrachtet daher den Zustand, in welchen die Netzhaut bei der Erzeugung der physiologischen oder accidentellen Farben übergeht, als einen negativen und gelangt aus der Vereinigung aller selbst aufgefundenen und von anderen entnommenen Thatsachen zu folgendem allgemeinen Resultate: Wenn die Netzhaut dem Eindrucke irgend eines farbigen Lichtes ausgesetzt ist, so übt sie Widerstand hiergegen aus und strebt in ihren normalen Zustand mit einer zunehmend gröfseren Kraft wieder zurückzukommen. Wird sie dieser erregenden Ursache plötzlich entzogen, so kehrt sie in den normalen Zustand zurück durch eine Art von oscillatorischer Bewegung, welche um so viel stärker ist, je anhaltender der erhaltene Eindruck war, und vermöge deren ein Uebergang vom positiven zum negativen Zustande statt findet. Meistens ist diese Oscillation mehr oder minder regelmäfsig, stets abnehmend, und beschränkt sich auf

Digitized by Google

ein abwechselndes Verschwinden und Wiedererscheinen der Bilder oder erstreckt sich auf einen Wechsel der positiven und negativen Erscheinungen im Hervortreten der eigentlichen und der complementären Farben. Der Zwischenraum, welcher verfliefst von dem Augenblicke an, in welchem die Retina dem Eindrucke des gefärbten Objectes entzogen wird, bis dahin, dafs sie zum negativen Zustande übergeht, wird durch die Dauer des Lichteindrucks bezeichnet und die negativen Phasen geben das Phänomen der physiologischen oder accidentellen Farben.

Dafs unter diesen Oscillationen nicht eigentliche pendelartige Schwingungen zu verstehen sind, wie möglicherweise aus der angegebenen Theorie von Brewster geschlossen werden könnte, vielmehr nur ein Schwanken nach beiden Seiten einer gegebenen Grenze, scheint mir aus der ganzen Darstellung genügend hervorzugehen, und hiernach ist in dieser Theorie nur dasjenige bestimmter und deutlicher ausgesprochen, was v. Goethe bereits über diese Erscheinungen gesagt hat[1]. Wirklich beziehen sich auch beide Gelehrte darauf, dafs ähnliche Schwankungen, Uebergänge von einem erregten Zustande in den entgegengesetzten, bei andern Sinnen gleichfalls statt finden. Wenn in dieser Beziehung die Erfahrung erwähnt wird, dafs z. B. auf das Reiben der Hände mit Schnee nach augenblicklicher Erkaltung ein Heifswerden derselben zu folgen pflegt, so hat dieses ohne Zweifel einen zusammengesetzteren physiologischen Grund, weit passender und ganz eigentlich zur Aufklärung der Sache dienend ist aber folgende von Plateau angegebene Erfahrung. Wenn man auf eine ebene Tischplatte einen etwas erhabenen Körper, z. B. einen Strickstock, ein kleines hartes Metallkörnchen u. s. w., legt und mit der Spitze des Fingers anhaltend drückt, dann mit derselben eine andere Stelle ohne die Erhabenheit berührt, so scheint dort eine Vertiefung von der Gröfse und Form des gedrückten Körpers vorhanden zu seyn.

Ein keineswegs selten vorkommender Fehler der Augen ist das Unvermögen, gewisse Farben zu erkennen (*Achrupsia*), dessen Erklärung oft, aber stets ohne genügenden Erfolg, ver-

---

1 S. Art. *Farbe*. Bd. IV. S. 129.

sucht wurde. Zu dem bereits Angegebenen[1] verdient noch Folgendes hinzugesetzt zu werden, was mindestens viel zur Feststellung der eigentlichen Thatsachen beiträgt. Die genannte Eigenschaft der Augen ist nicht etwa blofs in physiologischer Hinsicht interessant, sondern auch in rein physikalischer Beziehung wichtig zur bessern Kenntnifs des eigentlichen Wesens der farbigen Lichtstrahlen. Aus dieser Ursache stellte Herschel[2] Versuche mit dem Auge eines ausgezeichneten Optikers an, welches die genannte Eigenschaft hatte, und bediente sich zu gröfserer Schärfe der Bestimmung und um gleichzeitig die zwei entgegengesetzten Farben zu haben, der durch polarisirtes Licht vermittelst eines Glimmerblättchens erzeugten Farbenbilder. Die Resultate waren weniger entscheidend, als die erscheinenden Farben ihm zur Bezeichnung gezeigt wurden, kamen aber im Ganzen mit denjenigen überein, die aus den Versuchen dann hervorgingen, wenn er selbst dem Glimmerblättchen diejenige Richtung gab, wobei er die stärksten Gegensätze der erzeugten Farben erhielt, wie die folgende Tabelle zeigt.

Farben für ein gesundes Auge.		Farben für das abnorme Auge.	
links liegende	rechts liegende	links liegende	rechts liegende
Blafs nelkenroth	Blaugrün	Gelb	Blau
Blaugrün	Blafsroth	Blau	Gelb
Gelb	Blau	Gelb	Blau
Weifs	Feuer-orangefarben	Blau	Gelb
Blafs ziegelroth	Weifs	Gelb	Blau
Indigblau	Blafsgelb	Blau	Gelb
Gelb	Indigblau	Gelb	Blau

Was ich schon aus den frühern Beobachtungen folgerte, was aber aus den verschiedenen angewandten gemischten Farben nicht mit gleicher Deutlichkeit hervorging, nämlich dafs solche abnorme Augen gegen das grüne und rothe Licht unempfindlich sind, das zeigt sich aus diesen mit gröfster Evi-

1 S. Art. *Gesicht*. Bd. IV. S. 1423.
2 Art. *Light*, in Encyclop. metrop. p. 434.

Digitized by

denz. Das hier geprüfte Auge unterschied blofs blaue und gelbe Färbung, wodurch gemeinschaftlich alle mehr und alle weniger brechbare Lichtstrahlen bezeichnet wurden. Herschel meint, es gebe in seltenen Fällen auch solche Augen, die für gar keinen Farbeneindruck empfänglich wären, sondern welche blofs ein mehr oder weniger Dunkles und Helles unterschieden, bei denen also das Blau einen Uebergang zum Schwarz und das Gelb einen Uebergang zum Weifs mache. Es scheint dieses allerdings aus einigen der mitgetheilten Fälle hervorzugehn, allein keineswegs mit Gewifsheit, vielmehr ist es ungleich wahrscheinlicher, dafs die Achrupsie in einem Mangel des Unterscheidungsvermögens der grünen und rothen Strahlen besteht und dafs blofs die weniger brechbaren ohne weitere Unterscheidung einen eigenthümlichen Eindruck erzeugen, welcher Gelb genannt wird, während deren complementäre eine entgegengesetzte Empfindung hervorrufen, welche durch Blau bezeichnet wird. Herschel bemerkt mit Recht, dafs man dem Auge nicht eigentlich Unempfindlichkeit der Retina gegen gewisse farbige Lichtstrahlen beimessen könne, denn die so gefärbten Gegenstände werden wirklich gesehn, auch könne diese Eigenschaft nicht von einer Färbung irgend einer der Flüssigkeiten des Auges herrühren, welche gewisse Farbenstrahlen nicht zur Retina gelangen lasse, sondern müsse aus einem Mangel im Sensorium entstehn, welcher verhindere, diejenigen Unterschiede in der Brechung der Lichtstrahlen wahrzunehmen, wovon jene Färbungen abhängen. Dieser Hypothese steht jedoch der Umstand entgegen, dafs die Brechung der rothen Strahlen, die nicht wahrgenommen werden, in die der wahrnehmbaren gelben übergeht und dafs die grünen sogar zwischen diesen und den gleichfalls wahrnehmbaren blauen in der Mitte liegen. Es scheint also den Thatsachen noch immer am nächsten zu kommen, — wobei nicht übersehn werden darf, dafs die Eigenthümlichkeit der Farben, sich durch ihre Verbindung zum Weifs zu ergänzen, eine physiologische ist, daher auch die Empfindung der complementären wegfallen mufs, wenn die ursprüngliche nicht erkannt wird, — wenn man diesemnach annimmt, dafs die rothen Lichstrahlen den eigenthümlichen Reiz auf die Netzhaut nicht hervorbringen, vermöge dessen sie erwärmend wirken, und dafs sie aus dieser Ursache nicht unterschieden werden, wonach dann die

entgegengesetzten grünen einer gleichen Bedingung unterliegen müssen, statt dafs die chemisch wirkenden blauen und die ihnen entgegenstehenden gelben vermöge dieser eigenthümlichen Wirksamkeit wahrgenommen werden. Dieser bereits gegebenen Erklärung mufs ich jedoch hinzufügen, dafs die von D. Brewster erzählte Thatsache[1], wonach aus dem durch ein Prisma gesehenen Bilde einer Kerzenflamme die grüne und rothe Farbe bei längerem Ansehn allmälig verschwinden soll, bei gesunden Augen nach wiederholten Versuchen nicht statt findet.

D. Brewster[2] theilt die so eben angeführten Versuche gleichfalls mit und wirft dabei verschiedene Fragen auf, von denen er aber selbst sagt, dafs die meisten sich leicht beantworten lassen. Eine der schwierigsten scheint zu seyn, dafs Grafsgrün (*rich grafs-green*) für gelb erklärt wurde; allein man weifs nicht, in wie weit das Grün des gebrauchten Körpern sich mehr zum Gelben hinneigte, wonach dann diese Farbe, als über das Blau überwiegend, allein erkannt werden mufste. Weit weniger Gewicht scheint mir der Einwurf zu haben, wie es zugehe, dafs das erwähnte Auge in der Verbindung von Blau und Gelb Weifs wahrnehme und doch auch Weifs als solches für sich erkenne? Es ist nämlich ganz nothwendig, dafs diese beiden Farben, die für solche Augen alle im Spectrum enthaltene in sich fassen, ebenso Weifs geben müssen, als auch das gesunde Auge in der Vereinigung aller Farben des Spectrums weifses Licht erhält und zugleich auch das nicht vorher getrennte Licht als weifs erkennt, abgerechnet dafs Gelb (eigentlich Orange, was aber bei solchen Augen für gelb, ebenso wie das Violett für blau gelten kann) und Blau als complementär sich zu Weifs ergänzen.

Die zu den Augentäuschungen zu zählenden Erscheinungen, wohin namentlich die Beobachtungen von Roget und das auf die Dauer der Gesichtseindrücke gegründete *Thauma-*

---

1 Art. *Gesicht*. Bd. IV. S. 1428.

2 Edinb. Journ. of Science. N. XIX. p. 153. Vergl. Wiener Zeitschr. VI. S. 232. Weitere Nachricht über Dalton's Unvermögen, gewisse Farben zu erkennen, findet man in Edinb. Journ. of Sc. New Ser. N. IX. p. 88. Auch Colquhoun beobachtete einige Individuen, die Roth und Grün nicht unterscheiden und schwer wahrnehmen konnten. Glasgow Med. Journ. Froriep Notizen Th. XXIV. S. 305.

trop gehören, wovon bereits geredet worden ist[1], sind durch einige sehr interessante Apparate vermehrt worden. Von grofser Wichtigkeit sind vor allen die Bemühungen von Plateau[2], die Bestimmung der Dauer des Lichteindrucks auf die Netzhaut weiter zu führen, als dieses durch d'Arcy, Segner und Parrot geschehen ist. Hierbei fand er einige bisher nicht genug beachtete, aber in der Natur der Sache gegründete Schwierigkeiten. Zuerst verschwindet der Eindruck nicht plötzlich, sondern allmälig, und es läfst sich daher nur die Zeit bestimmen, während welcher der Lichteindruck eine gewisse Stärke hat. Werden dann Körper in Kreisen bewegt, die sich schliefsen, so haben diese Lichtkreise eine ungleiche Intensität und daraus entsteht ein gewisses Schwanken, welches die Bestimmung noch unsicherer macht. Weniger bedeutend ist, dafs es einer gewissen Zeit bedarf, bis der Eindruck vollständig ist. Ungeachtet dieser Schwierigkeiten ist Plateau zu sehr schätzbaren Resultaten gelangt.

Durch mehrere verbundene verticale Räder, deren erstes durch ein hinlänglich starkes Gewicht beschwert wurde, um dem letzten die erforderliche Geschwindigkeit zu geben, wurden weifse und gefärbte, vom Tagslichte erleuchtete Stücke Papier umgeschwungen, bis sie einen vollen Kreis bildeten, und dann die Zeit eines Umschwunges bestimmt, die zugleich die Dauer des Lichteindrucks gab, wobei ein Windfang die Bewegung gleichmäfsig machte. Bei der ersten Versuchsreihe war der beobachtete Gegenstand ein Papierstreifen, von zwei mit dem Umfange der Scheibe parallelen Kreisbogen und den Radien, die einen Quadranten einschliefsen, begrenzt. Die Dauer des Lichteindrucks war im Mittel bei weifsem Papier 0″,35, bei gelbem mit Gummigutt gefärbtem 0″,35, bei rothem mit Carmin gefärbtem 0″,34, bei blauem mit Berlinerblau gefärbtem 0″,32. Bei den folgenden Versuchen wurden die gefärbten Papiere so, wie die Zeichnung sie darstellt, auf dunkel schwarzen Grund geklebt oder die Scheibe wurde in dieser Form ausgeschnitten; im erstern Falle mufs die Scheibe einen gleichförmigen, aus der gewählten Farbe mit Schwarz Fig. 320.

1 Art. *Gesicht*. Bd. IV. S. 1456 ff.

2 Dissertation sur quelques propriétés des impressions produites par la lumière cet. Liége 1829. Poggendorff's Ann. XX. 304.

gemischten Ton erhalten, im zweiten durchsichtig erscheinen. Die Mischung mit Schwarz erklärt sich leicht daraus, dafs der Farbeneindruck während des Vorüberganges des einen Streifens bis zur Ankunft des folgenden allmälig abnimmt, wozu ich hinzusetzen möchte, dafs es auch jedesmal einer kleinen Zeit bedürfe, bis der Eindruck seine völlige Stärke erreicht. Bei einer Scheibe mit 12 farbigen und 12 schwarzen Feldern betrug die Dauer des Lichteindrucks für Weifs 0″,191, für Gelb 0″,199, für Roth 0″,232, für Blau 0″,295. Es ist auffallend, dafs bei diesen Zeiten das umgekehrte Verhältnifs, als das oben erhaltene, statt findet, welches Plateau daraus erklärt, dafs die blaue Farbe den schwächsten, aber ebendaher den dauerndsten Eindruck mache; allein dieses scheint mir nicht befriedigend und hauptsächlich finde ich den auffallenden Umstand nicht berücksichtigt, dafs die letztern Gröfsen ungleich kleiner sind, als die erstern. Dieses scheint mir dadurch erklärbar, dafs die Papierstreifen in den ersten Versuchen die Länge eines ganzen Quadranten hatten, in den letzten aber nur den sechsten Theil hiervon, die Lichteindrücke wurden daher stärker und somit länger dauernd. Man könnte dann hinzusetzen, dafs die kürzere Dauer der blauen Farbe nur scheinbar sey und auf der längern Zeit beruhe, die bei ihr erfordert wird, bis der Eindruck vollständig geworden ist, was bei den schnell wiederkehrenden Eindrücken wegfällt, und es mag dann immerhin derjenige Farbeneindruck, welcher längere Zeit bis zur Erregung erfordert, länger dauern, wenn er einmal erregt ist. Indefs zeigten directe Versuche, dafs der schwächere Eindruck langsamer abnimmt, als der stärkere. Fig. 321. Wurden nämlich die beiden Scheiben A und B angewandt, so erzeugte die erstere einen schwächern Farbenton, als die letztere, allein die Zeiten verhielten sich bei beiden wie 1 zu 0,76. Bei der Anwendung von zwei Scheiben mit ungleich breiten, schwarzen und weifsen Streifen, wovon die Breite der weifsen bei der einen genau der Breite der schwarzen auf Fig. 322. der andern gleich ist, erzeugt die erstere einen schwächern Eindruck als die zweite, allein die Zeiten des Umlaufens, bis beide einen gleichmäfsigen Farbenton zeigen, sind gleich, so dafs also die Schwäche des Eindrucks bei A durch längere Dauer die gröfsere Stärke bei B mit kürzerer Dauer ersetzt[1].

1 Es scheint mir, als ob die zuletzt genannten Erscheinungen

Digitized by Google

Fortgesetzte Versuche dieser Art würden ergeben, in welchem Verhältnisse die Stärke und die Dauer der Eindrücke zu einander stehn, und dann könnten auch beide Gröfsen für die verschiedenen Farben, für ihre ungleiche Stärke und die eigenthümliche Beschaffenheit der Augen ausgemittelt werden[1].

Eine interessante Anwendung, die sich hiervon machen läfst, findet statt, wenn man auf die Sectoren einer Scheibe neben einander wechselnd zwei Farben aufträgt, durch deren Verbindung eine dritte entsteht, wobei dann die schmäleren Sectoren derjenigen Farbe zugehören, die den stärkern Eindruck erzeugt. Müssen z. B. bei Blau und Roth, um ein gleichmäfsiges Violett zu erhalten, die blauen Sectoren breiter seyn, so folgt, dafs das Blau eine längere Zeit vor dem Auge verweilen müsse, um einen gleich starken Eindruck, als das Roth, zu erzeugen. Auf diese Weise gaben blaue und gelbe Sectoren ein zu keiner dieser Grundfarben hinneigendes Grün, wenn ihre Breiten sich wie beinahe 4 zu 1 verhielten, blaue und rothe ein prächtiges Violett bei einem Verhältnifs von 4 zu 1, rothe und gelbe gaben Orange bei einem Verhältnifs von 5 zu 3, wonach also die Farben rücksichtlich der Stärke so folgen: *Weifs, Gelb, Roth, Blau.* Um dieses Resultat zu controliren, heftete Plateau gleich grofse runde gefärbte Scheiben Papier auf eine verticale schwarze Tafel, entfernte sich dann so weit, bis sie noch als eine kaum wahrnehmbare Wolke erschienen und im Begriff waren gänzlich zu verschwinden, und mafs dann den kleinsten optischen Winkel, unter welchem sie dem Verschwinden nahe waren. Dieser betrug

im Schatten: Weifs 18″, Gelb 19″, Roth 31″, Blau 42″
im Sonnenschein — 12, — 13, — 23, — 26.

Aehnliche Augentäuschungen, als die von Roget bereits an-

---

bequemer aus dem Gegensatze der Erscheinungen erklärlich werden. Offenbar mufs nämlich ein Eindruck, sollte es auch nur ein negativer (vom Schwarz, ein Rückgang) seyn, erst aufhören, ehe ein anderer bleibend werden kann, und da also die Eindrücke der weifsen und schwarzen Streifen sich ausgleichen müssen, wenn ein gleichmäfsiger Farbenton entstehn soll, so ist es bei gleichen Wechseln der Sectoren gleich, ob die schwarzen oder farbigen die gröfsere Breite haben.

1 Dafs hierbei verschiedene Augen eine grofse Ungleichheit zeigen werden, unterliegt nach meiner Ansicht keinem Zweifel.

gegebenen[1], hat Plateau gleichfalls in gröfserer Allgemeinheit untersucht, Faraday[2] aber giebt einen sehr einfachen und leicht zu construirenden Apparat an, um einige interessante Erscheinungen bewegter gezahnter Räder ohne Schwierigkeit darzustellen. Auf einem horizontalen Fufsbrete AB befindet sich ein kleines verticales CD, welches an beiden Seiten so eingeschnitten ist, dafs in der Mitte eine Art Pfeiler zurückbleibt. In den Ausschnitten befinden sich die beiden gezahnten Räder m und n, am besten von hartem Kartenpapier, auf stählernen Axen, welche beide in einer horizontalen Linie liegen und mit ihren Spitzen in kupfernen Pfannen oder sonst leicht beweglich laufen. Auf dem mittlern Ständer des Bretchens ist am Stifte t die horizontale, unten mit Sandpapier oder einem sonstigen rauhen Körper bedeckte Scheibe s so angebracht, dafs sie mit den Fingern oder durch eine sonstige Vorrichtung leicht um ihre verticale Axe gedreht werden kann. Sie ist mit ihrer untern Fläche in Berührung mit kleinen Röllchen, die sich auf den Axen der Räder mit starker Reibung verschieben lassen. Wird die Scheibe um ihre Axe gedreht, so laufen die Räder in entgegengesetzter Richtung um, und zwar mit gleicher oder ungleicher Geschwindigkeit, je nach dem Abstande der auf ihren Axen verschiebbaren Röllchen vom Centrum der horizontalen Scheibe. Will man, dafs sie sich auch nach gleicher Seite umdrehn sollen, so kann man im untern Theile des Bretchens eine Axe mit Rollen durchgehn lassen, vermittelst deren und umgeschlungener endloser Schnüre die Umdrehung bewerkstelligt wird. Werden dann die Räder mit gleicher und entgegengesetzter Geschwindigkeit umgedreht, so erblickt das in der Verlängerung ihrer Axe befindliche Auge ein feststehendes Rad mit der doppelten Anzahl Zähne jedes einzelnen; ist aber die Geschwindigkeit nicht gleichmäfsig, so dreht sich das Bild des Rades in der Richtung dessen, dem die gröfsere Geschwindigkeit zugehört. Befindet sich das Auge aufserhalb der Axe der Räder, aber so, dafs diese sich zum Theil noch decken, so erblickt das Auge ein Trugbild von mannigfaltiger Gestalt, welches auch

Fig. 823.

---

1 Art. *Gesicht.* Bd. IV. S. 1460.

2 Journ. of the Royal Instit. N. II. p. 205. Poggendorff's Ann. XXII. 601. Wiener Zeitschr. X. S. 80.

Digitized by Google

in dem Schatten, den es im Sonnenscheine gegen eine weifse Wand wirft, oder im Spiegel betrachtet werden kann. Poggendorff[1] bemerkt mit Recht, dafs diese Augentäuschung grofse Aehnlichkeit mit einer andern hat, vermöge deren die Schraubengänge einer Schraube aufwärts oder abwärts zu laufen scheinen, wenn man sie mit der erforderlichen Geschwindigkeit um ihre Axe dreht, ein Mittel, dessen man sich bedient, um das Fliefsen des Wassers durch eine sich drehende gewundene Glasröhre nachzubilden. Dahin gehören ferner noch zahlreiche andere bekannte, unwiderstehlich täuschende Erscheinungen, z. B. die mehrfach wahrgenommene, dafs die Eisenbahnen beim sehr raschen Fahren, wenn ihre Unebenheiten durch die grofse Geschwindigkeit nicht mehr wahrnehmbar sind, sich vorwärts zu bewegen scheinen, statt dafs beim langsamen Fahren die scheinbare Bewegung der Umgebungen eintritt[2].

Die Kenntnifs der bisher beschriebenen Erscheinungen veranlafste ungefähr gleichzeitig und ohne Zweifel ganz von einander unabhängig zwei Erfindungen des nämlichen sehr interessanten Apparats. Plateau gab zuerst kurze Nachrichten über seine hierin einschlagenden optischen Untersuchungen[3] und beschrieb nachher in einem Briefe vom 20sten Jan. 1833 den von ihm *Phaenakistiskop*, *Phantaskop* oder *Phantasmaskop* genannten Apparat[4], wovon er bereits im Nov. 1832 ein Exemplar an Faraday sandte[5]. Hiernach ist er also rücksichtlich der Zeit als der erste Erfinder zu betrachten. Bei der grofsen Entfernung ist es höchst unwahrscheinlich, dafs Stampfer in Wien von dieser Entfernung etwas wissen konnte, als er der Vorrede nach im Juli 1833 die Beschreibung des von ihm erfundenen gleichen Instruments bekannt machte[6], dem er den Namen *stroboskopische Scheiben*

---

1 A. a. O. S. 603.

2 Nach eigener Beobachtung. Vergl. Journ. of the Royal Inst. 1831. No. III.

3 Correspond. astronom. et phys. de l'Observ. de Bruxelles. T. IV. p. 393. T. VI. p. 121.

4 Ebend. T. VII. p. 365. Vergl. Ann. Ch. Phys. T. LIII. p. 304.

5 Poggendorff's Ann. XXXII. 647.

6 Die stroboskopischen Scheiben u. s. w., von deren Erfinder S.

beilegte, unter welchem diese überraschende Spielerei in Deutschland bald sehr allgemein bekannt wurde. Aus letzterem Grunde wird es genügen, hier nur eine kurze Beschreibung und Erklärung mitzutheilen, wie Stampfer und nach ihm Poggendorff bereits gegeben haben.

Die stroboskopischen Scheiben sind runde Pappscheiben von etwa 6 bis 10 Zoll Durchmesser, in ihrem Centrum mit einer kurzen eisernen Axe versehn, welche durch das obere Ende eines unten mit einer Handhabe versehenen Stabes gesteckt, mit einer kleinen Rolle versehn und dann mit einem Schräubchen so befestigt wird, dafs die vertical gehaltene Scheibe vermittelst des Röllchens blofs mit den Fingern schnell umgeschwungen werden kann. Die Scheibe ist gegen den Rand hin mit einer Anzahl vierkantiger Oeffnungen von etwa 0,75 Zoll Höhe und 0,5 Z. Breite versehn und auf der einen Seite mit den erforderlichen Figuren bemalt, deren Bilder man in einem Spiegel erblickt, wenn man die Scheibe diesem gegenüber hält und durch die Einschnitte sieht. Wird die Scheibe vermittelst des Röllchens schnell um ihre Axe gedreht, so nehmen die im Spiegel gesehenen Bilder diese Bewegung gleichfalls an, die Eindrücke derselben auf das Auge werden aber durch die zwischen den Einschnitten befindlichen, diesen ungefähr gleich grofsen Zwischenräume unterbrochen, und obgleich jederzeit alle Bilder der Scheibe gesehn werden, so wird doch diejenige vorzüglich beachtet, welche der zum Durchsehn dienenden Oeffnung am nächsten, also dem Auge gerade gegenüber ist. Indem aber bei angemessener Geschwindigkeit der Umdrehung der Lichteindruck dieses gesehenen Bildes so lange dauert, bis das folgende wieder gesehn wird, zugleich aber nach Plateau schwächer wird, bis das folgende deutlich hervortritt, so darf man nur den Bildern nach der Reihe eine veränderte Stellung geben, um die Täuschung zu erzeugen, als hätten die Figuren während dieser Zeit (nämlich des Verschwindens des frühern und des allmälig entstehenden folgenden Eindrucks) ihre Stellung verändert, wonach

---

Stampfer. Jahrb. des polyt. Instituts in Wien. Th. XVIII. S. 237. Hier wird der Weg, auf welchem Stampfer zu der interessanten Erfindung gelangte, so genau angegeben, dafs man nicht umhin kann, ihm dieselbe beizulegen.

Digitized by Google

diese also scheinbar eine diesen Stellungen entsprechende Bewegung annehmen.

Hiermit ist das Ganze des Phänomens erklärt und es ist nur noch erforderlich, einige beachtenswerthe Bedingungen zu erörtern. Die Breite der Oeffnungen ist willkürlich, allein je gröfser sie ist, desto bleibender wird der Eindruck der gesehenen Stellung und desto schwerer die Täuschung ihres Ueberganges zu einer folgenden; je kleiner sie ist, desto undeutlicher wird der Eindruck und um so dunkler die Figur. Der Abstand der Einschnitte von einander ist meistens gleich und dieses mufs für gleichmäfsig fortlaufende Bewegungen auch seyn, für sprungweise erfolgende wäre auch ein ungleicher nicht blofs zulässig, sondern sogar erforderlich, jedoch müssen diese Abstände und die Geschwindigkeit der Umläufe in einem solchen Verhältnisse stehn, dafs wenigstens 5 Bilder während einer Secunde vor dem Auge vorüberlaufen, wenn man die Dauer eines Lichteindrucks auf das Auge zu 0,2 Secunden annimmt. Hat die Scheibe mehrere Reihen von Bildern, so wird man bei diesen allen die Bewegungen wahrnehmen, für deren periodische Wiederkehr jedoch erforderlich ist, dafs das letzte Bild sich ebenso an das erste, als dieses an das zweite u. s. w. anschliefse. Mit der Geschwindigkeit des Umlaufes der Scheibe wird auch die Schnelligkeit der Bewegung ihrer Figuren vermehrt, jedoch darf erstere nicht so grofs seyn, dafs gar kein Lichteindruck von einem vorhandenen Bilde auf das Auge entstehn kann.

Aufser dieser Veränderung in der Stellung der Bilder erhalten dieselben auch je nach dem Verhältnisse ihrer Zahl zu der Zahl der Löcher eine vorwärts oder rückwärts gehende Bewegung um das Centrum der Scheibe. Ist die Zahl der Löcher $= n$, der Bilder $= n + m$, so beträgt der Winkel zwischen zwei Löchern $= \frac{\alpha}{n}$, zwischen zwei Bildern $\frac{\alpha}{n+m}$, mithin ist letzterer kleiner um $\frac{\alpha}{n(n+m)}$. Erhält also das Auge im ersten Momente durch die Oeffnung einen geraden Eindruck des Bildes, so rückt dieser beim zweiten Loche um den Winkel $\frac{\alpha}{n(n+m)}$ gegen die Seite hin, wohin sich die Scheibe bewegt, so dafs also das Bild nach m Umläufen der

Scheibe um den Winkel $\frac{ma}{n+m}$ fortgerückt ist. Für $-m$ findet das Nämliche, jedoch der Drehung der Scheibe entgegengesetzt, statt. Ist allgemein die Anzahl der Bilder $= a$, der Unterschied zwischen dieser und der Zahl der Löcher $= d$, so treffen d scheinbare Umläufe der Bilder auf a Umdrehungen der Scheibe in gleicher oder entgegengesetzter Richtung. Ist $d = 0$, so stehn die Bilder rücksichtlich dieses Umlaufes still, auch findet dieses statt, wenn $d = (p-1)a$ oder $n = ap$ ist, worin p eine ganze Zahl oder ein ächter Bruch seyn kann. Ist $p = 2$, also die Zahl der Löcher doppelt so grofs, so fällt der gerade Lichtstrahl bei jedem zweiten Loche auf ein Bild, bei dem zwischenliegenden zwischen zwei Bilder, und das Auge erhält abwechselnd Eindrücke von einem unbeweglichen Bilde und einer leeren Stelle. Bei gehöriger Geschwindigkeit der Scheibe pflanzen sich die Bilder auf die leeren Stellen fort und es erscheinen so viele ruhende Bilder, als Oeffnungen vorhanden sind; setzt man aber in die leeren Zwischenräume Figuren von anderer Farbe, so erhält man Bilder von einer gemeinschaftlichen Farbe, die der Verbindung beider Farben zugehört. Dieses wird hinreichen zum Verständnisse der Haupterscheinungen und der vielfachen Modificationen, deren diese fähig sind, wenn man z. B. nur einander zugehörige Hälften oder Theile der Bilder zeichnet.

Es liegt in der Natur der Sache, dafs diese Art der Augentäuschungen durch mehrfach modificirte Apparate erzeugt werden kann. Einen solchen, wozu sich der Vorschlag bereits in der Schrift von Stampfer findet, hat W. G. Horner wirklich ausgeführt und *Daedaleum* genannt, dabei auch eine mathematische Construction dieser Phänomene gegeben[1]. Das Daedaleum besteht aus einem hohlen Cylinder, welcher auf dem Rande einer rotirenden Scheibe befestigt und mit Oeffnungen in gleichen Abständen von einander versehn ist. Durch diese werden die auf seiner Innenseite befindlichen, am besten transparenten Figuren sichtbar, und wenn diese rücksichtlich ihrer Stellung und Zahl im Verhältnisse zu der Zahl

1 Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XIX. p. 36. Poggendorff's Ann. XXXII. 650. Die mathematische Construction lasse ich weg, weil dadurch das Phänomen an sich nicht deutlicher wird.

Digitized by Google

der Löcher den stroboskopischen Scheiben gleich kommen, so zeigen sie auch die nämlichen Phänomene. Man hat hierbei den Vortheil, dafs der Apparat sich mehr im Grofsen ausführen läfst und dafs mehrere Personen gleichzeitig die Phänomene beobachten können. Auch diejenigen Figuren, die auf dem Boden des Cylinders gezeichnet sind, können auf diese Weise gesehn werden. Nach meiner Ansicht würde sich die Erscheinung am besten ausnehmen, wenn man den Cylinder mit einem geeigneten Dache versähe, blofs inwendig erleuchtete und die Versuche im Dunkeln anstellte.

Talbot[1] erwähnt noch folgende interessante Augentäuschung. Wenn man einen Draht an der hintern Seite eines Spiegels befestigt, ihn dann nach vorn biegt und seinem Ende eine mit der Axe des Spiegels parallele Richtung giebt, den Spiegel aber schnell um seine Axe rotiren läfst, so sieht man das Drahtende nicht. Bringt man aber eine Lichtkerze in einige Fufs Entfernung vor den Spiegel, so giebt das reflectirte Bild derselben einen Lichtpunct und der Draht wird sichtbar. Poggendorff[2] wurde schon 1826 durch diese Erscheinung überrascht, deren Erklärung übrigens nicht schwer ist. Die schnelle Rotation des Spiegels bewirkt, dafs der Draht bei jedem Umschwunge einmal vor der Lichtflamme vorübergeht, wodurch sein Schatten in den Spiegel projicirt wird, und er mufs dann an dieser Stelle sichtbar bleiben, wenn der Lichteindruck von einem Vorübergange bis zum andern dauert.

Um den von Busolt[3] erfundenen *Farbenkreisel* nicht unerwähnt zu lassen, bemerke ich nur kurz, dafs derselbe aus einer etwa 4 Zoll im Durchmesser haltenden dicken und meistens 5 Pfund wiegenden Metallscheibe besteht, welche an einer hölzernen, mit Stahlstiften an ihren Enden versehenen verticalen Axe befestigt vermittelst einer um die Axe gewundenen, mit der Hand rasch abgezogenen Hanfschnur in sehr schnelle Rotation versetzt wird, die gegen 45 Minuten und länger dauert, wenn die Reibung der Stahlspitzen möglichst vermindert ist. Während dieser Rotation läfst man mit verschiedenen lebhaften Farben gefärbte Scheiben und Flügel

---

1 Lond. and Edinb. Phil. Magaz. N. XX. p. 113.
2 Ann. XXXII. 649.
3 Ebend. XXXII. 656.

von dünner Pappe, jede einzelne nur einfarbig, auf der Axe bis zur Scheibe herabsinken, mit der sie in gemeinschaftliche Rotation kommen, zuweilen excentrisch, wenn ihre Oeffnungen etwas weiter sind, und dadurch ein mannigfaltiges Farbenspiel erzeugen.

Das Einfachsehen mit beiden Augen und das Sehen geraden Gestalten, obgleich zwei verkehrte Bilder, auf jeder Retina eins, erzeugt werden, hat von jeher die Physiologen und Philosophen sehr beschäftigt. Auf welchen physikalischen und zugleich psychologischen Gründen dieses beruhe, ist bereits gezeigt worden[1], und die Sache scheint mir noch immer so leicht und anschaulich, dafs sie eigentlich keiner weitern Untersuchung bedarf. Inzwischen will ich hauptsächlich des geschichtlichen und literarischen Interesses wegen dasjenige kurz anzeigen, was neuerdings in dieser Beziehung mir bekannt geworden ist.

Wollaston nahm zur Beseitigung der scheinbaren Schwierigkeiten eine Halbdurchkreuzung (*Semidecussation*) der optischen Nerven an. Hiergegen erklärt sich Twining[2] aus anatomischen Gründen, indem er eine Menge Beispiele anführt, wo bei Krankheiten des einen Auges blofs derjenige Nervenzweig, welcher diesem angehört, zerstört oder leidend war, ohne dafs die krankhafte Affection in der Durchkreuzungsstelle zum andern Nervenzweige überging. Interessant ist dabei die Nachweisung, dafs nach einer Stelle in Harris's[3] Optik schon Newton das Einfachsehen mit zwei Augen aus dieser Ursache ableitete. Mit Recht wird zugleich bemerkt, dafs bei gesundem Gehöre jedes Ohr einen besondern, auch einzeln wahrnehmbaren Ton hört, beide vereint aber nur die Empfindung eines einzelnen geben. Auf gleiche Weise sagt Herschel[4], dafs wir mit beiden Händen das nämliche Object fühlen und dieser zwei Eindrücke ungeachtet auf die Existenz nur eines einzigen Gegenstandes schliefsen, weil die Sinneseindrücke erst durch die Erfahrung ihre Bestimmung erhalten. Gra-

---

1 Art. *Gesicht*. Bd. IV. S. 1476.

2 Aus Transactions of the Medical and Physical Soc. of Calcutta. T. II. p. 151. in Edinb. Journ. of Sc. N. XVII. p. 143. Vergl. Wiener Zeitschr. Th. V. S. 111.

3 Harris's Treatise on Optics. Lond. 1775. 4. p. 103.

4 Encyclop. Metrop. art. Light. p. 899. Herschel fragt: warum fühlen wir mit zehn Fingern nicht zehnfach?

VES[1] streitet zwar gegen die Zulässigkeit dieses Argumentes, weil der Eindruck auf das Gesicht ein anderer sey, als durch das Gefühl; allein es ist wohl unleugbar, dafs beide rücksichtlich auf die Erzeugung einer Vorstellung als gleich gelten können, um so mehr, als sie beide einander bedingen und unterstützen, indem das Urtheil über Gestalt und Entfernung der gesehenen Objecte erst vermitttelst des Tastsinnes begründet wird. Mit diesen Ansichten genau übereinstimmend ist dann auch das bekannte Gesetz, dafs Objecte, die sich innerhalb des parallaktischen Winkels beider Augenaxen und seines Scheitelwinkels befinden, doppelt erscheinen müssen[2].

Da es noch immer Einige giebt, welche bei aller Klarheit der Sache die Nothwendigkeit des Einfachsehens mit beiden Augen als Folge der angegebenen Gründe nicht deutlich einsehn, so theile ich einen interessanten Versuch von HERSCHEL[3] mit, welcher unwiderleglich beweisend ist. Man betrachte in einiger Entfernung ein Kerzenlicht mit einem (es sey das linke) freien Auge, mit dem andern durch ein Prisma von ungefähr 5 bis 10 Grad, und zwar so, dafs die hierdurch entstehenden zwei Bilder in einer horizontalen Ebene liegen. Nach wenigen Secunden gehn beide in ein einziges über; zieht man aber das Prisma schnell vor dem Auge weg, so sind die zwei Bilder wieder da und gehn dann ebenso schnell wieder in ein einziges über, zum auffallendsten Beweise, dafs der Mensch unwillkürlich die Augenaxen so richtet, um die in beiden Augen erzeugten Bilder zu einem einzigen zu vereinigen. Vollständiger läfst sich dieser Versuch mit einem *Prisma von veränderlichem Brechungswinkel* anstellen[4]. Man

---

1 Dublin Journal of medical and chemical Science. N. III. p. 259.

2 Vergl. HERSCHEL a. a. O. BREWSTER Optics p. 292. in Lardner's Cabinet Cyclopaedia. ARNOTT Elements of Physics. T. II. p. 217.

3 A. a. O.

4 Ein solches Prisma wird erhalten, wenn man aus klarem Spiegelglase ein rechtwinkliges Prisma, dessen Brechungswinkel etwa 30° beträgt, von doppelter Länge als Breite schleift, dieses dann in der Mitte durchschneidet und beide Hälften so zusammenlegt, dafs sie sich einander ergänzen. In dieser Lage werden sie mit Mastix oder Terpentin zusammengekittet und durch Wegnahme der Kanten in einen Cylinder verwandelt, alsdann wieder getrennt und beide Hälften so in Messing gefafst, dafs sie sich über einander drehn lassen, um

hält dieses vor das Auge, während der Brechungswinkel =0 ist, und sieht dann nur ein einziges Bild. Wird das Prisma so gerichtet, dafs die in horizontaler Ebene liegenden Lichtstrahlen einen Winkel von 2° bis 3° mit einander machen, so entstehn zwei Bilder, die aber bald von selbst, oder wenn man nur einen Augenblick die Augenlieder schliefst und wieder öffnet, in ein einziges übergehn. Vergröfsert man den Brechungswinkel des Prisma's abermals um etwa ebenso viele Grade, so tritt bei Wiederholung des nämlichen Verfahrens derselbe Erfolg ein und die optischen Axen können auf diese Weise bis zu einem Winkel von 20° bis 30° abgelenkt werden. Setzt man demnächst ein zweites Licht genau in die Richtung des abgelenkten Lichtstrahls, jedoch so, dafs es durch einem Schirm dem freien Auge bedeckt ist, so sieht man nach Wegnahme des Prisma's nur ein Licht mit beiden Augen. Der Versuch gelingt nur dann leicht, wenn die Axe des durch das Prisma sehenden Auges nach innen gerichtet werden mufs, weil die meisten Menschen dieses viel leichter vermögen, als sie auswärts zu richten. Geschieht die Ablenkung nur etwas in einer verticalen Ebene, so ist es unmöglich, beide Bilder zu vereinigen. Herschel meint, man könne sich dieser Operation, wenn sie anhaltend fortgesetzt würde, als eines Heilmittels gegen das Schielen bedienen. Ich selbst habe gefunden, dafs Personen, welche sehr bewegliche Augenaxen haben, nur ein Licht zu sehen glauben, wenn jedes Auge durch eine etwa 15 Zoll lange, 0,75 Z. weite, inwendig geschwärzte Röhre ein besonderes, etwa 15 Fufs entferntes Kerzenlicht sieht, wenn beide Lichter möglichst gleich und in einer horizontalen Ebene sind. Die von beiden Kerzen in die Augen fallenden Lichtstrahlen können sich auch durchkreuzen.

Ueber das hiermit verwandte Problem, nämlich dafs das Auge der erhaltenen verkehrten Bilder ungeachtet die Gegenstände gerade sieht, sind mir keine weitern der Beachtung werthen Bemerkungen vorgekommen, ausgenommen etwa, was Brewster[1] gelegentlich darüber sagt, und die von Baum-

---

von einem Brechungswinkel von 0° bis zu einem von 60° überzugehn. Man kann dasselbe zu gröfserer Bequemlichkeit auch mit einem Handgriffe zum Halten versehn.

1 Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. III. p. 169.

Digitized by Google

GARTNER[1] versuchte Erklärung, wonach die Ursache in der Fortpflanzung des Stofses der Lichtstrahlen in das Innere der elastischen Retina liegen soll. Abgesehn davon, dafs nicht wohl begreiflich ist, wie hierin irgend eine verändernde Ursache liegen könne, da die Fortpflanzung dieses Stofses in der ursprünglichen Richtung statt finden mufs, mithin hierdurch nichts geändert wird, ist zwar die Retina allerdings insofern elastisch, als dieses Prädicat weichen und selbst tropfbar flüssigen Körpern zukommt, aber an eine eigentliche mechanische Erschütterung derselben durch die Lichtstrahlen, die obendrein erst durch das Auge und oft durch mehrere vorgehaltene Gläser gehn, ist sicher nicht zu denken. Die bisher aufgestellten, überall in sich consequenten Gründe genügen vollständig zur Lösung dieses nicht schwierigen Problems. Wenn ferner BAUMGARTNER dem Auge aufser seinem optischen noch ein eigenthümliches *dynamisches* Vermögen beilegen will, so scheint mir auch diese Annahme nicht hinlänglich begründet; denn die von ihm angeführten Thatsachen lassen sich alle auf eine gröfsere oder geringere Reizbarkeit der Retina und einen mehr oder minder vollendeten Bau der einzelnen Augen zurückführen. Dafs das Auge aber einen wegen seiner Kleinheit unsichtbaren Gegenstand vermittelst des Mikroskops zu sehn vermag, erfordert keineswegs die Annahme eines eigenen dynamischen Vermögens, sondern folgt einfach aus der Vergröfserung des optischen Winkels durch Loupen und Mikroskope.

Von einer Eigenthümlichkeit seines rechten Auges, hauptsächlich bei entfernten Gegenständen über dem eigentlichen Bilde gesehener Objecte noch ein zweites blasseres zu sehn, erzählt PREVOST[2] und führt zugleich aus einem Briefe von BABBAGE an, dafs dessen Auge die nämliche Eigenschaft habe. Nach der Beschreibung und Zeichnung des Letztern, hauptsächlich in Gemäfsheit der Bemerkung, dafs dieses Nebenbild verschwindet, wenn das Auge nur wenig geöffnet wird oder wenn er sich eines Hohlglases bedient, scheint mir dieser Fehler gar nicht ungewöhnlich zu seyn und findet sich namentlich bei meinen beiden Augen gleichfalls. Nach der Zeichnung

---

1 Dessen Zeitschrift für Physik. Th. II. S. 236.
2 Ann. Chim. Phys. T. LI. p. 210.

sieht Babbage auch die gegen den Horizont geneigte Grenze der Gegenstände doppelt, und hiernach ist zu vermuthen, dafs dieses auch bei verticalen statt findet, wie bei mir der Fall ist, indem mir namentlich die Einfassung kleiner Scheiben der Kirchenfenster, entfernte Thurmspitzen u. s. w. doppelt, mit einem stärkern und einem schwächern Bilde erscheinen. Mir scheint dieses eine Folge der Kurzsichtigkeit oder der Steifheit des Auges zu seyn, welches den gröfseren Entfernungen der Gegenstände nicht angepafst werden kann, weswegen nach Tortual die oben genannnten Zerstreuungsbilder entstehn. Bei Prevost findet vielleicht das Nämliche statt, doch scheint der Fehler bei ihm stärker zu seyn, und er selbst leitet ihn von einer Falte oder einem Bruche in der Krystall-Linse ab, was jedoch unwahrscheinlich ist; Arago glaubt, es sey dieses eine Folge der Interferenzen.

M.

Selen.

Selenium; Selène; *Selenium.*

Ein im Jahre 1817 von Berzelius entdeckter, dem Schwefel verwandter, aber durch metallisches Aussehn ausgezeichneter Stoff, der nur sparsam in Verbindung mit verschiedenen Metallen in der Natur verbreitet ist. Nach dem Schmelzen erstarrt erscheint das Selen spröde, weich, von 4,3 spec. Gewicht, von muschligem, dunkelbleigrauem, metallglänzendem Bruche; in sehr dünnen Lagen läfst es das Licht mit blutrother Farbe durchscheinen; sein Pulver ist scharlachroth. Es schmilzt etwas über 100° und siedet noch unter der Glühhitze; einen blasser gelben Dampf bildend, als der Schwefel. Es leitet schlecht die Wärme, nicht die Elektricität, läfst sich dennoch durch Reiben nicht elektrisch machen.

Seine drei Verbindungen mit Sauerstoff sind folgende:

Erhitzt man das Selen an der Luft mit einem flammenden Körper, so verdampft ein Theil desselben unverändert, während der andere mit violetter Flamme theils zu Selenoxyd, theils zu seleniger Säure verbrennt. Das *Selenoxyd* ist ein noch wenig untersuchtes, durch einen durchdringenden Rettiggeruch ausgezeichnetes Gas. Die *selenige Säure* (40 Selen auf 16 Sauerstoff) entsteht vorzüglich bei der Oxydation des

Digitized by Google

Selens durch Salpetersäure, läfst sich durch Sublimation in weifsen vierseitigen Nadeln erhalten, ist geruchlos, schmeckt sauer, löst sich leicht in Wasser und schiefst daraus in grofsen wasserhaltigen Säulen an. Sie liefert beim Erhitzen mit Ammoniak und auf nassem Wege mit schwefliger Säure reducirtes Selen und mit wässeriger Hydrothionsäure einen pomeranzengelben flockigen Niederschlag von Selenschwefel. Die *Selensäure* (40 Selen auf 24 Sauerstoff), die sich vorzüglich beim Verpuffen des Selens mit Salpeter erzeugt, kennt man blofs in Verbindung mit Wasser oder mit Salzbasen. Die concentrirte wässerige Selensäure ist eine schwere ölige Flüssigkeit; die selensauren Salze sind den schwefelsauren sehr ähnlich und damit isomorph.

Die *Hydroselensäure* (40 Selen auf 1 Wasserstoff) entwickelt sich beim Uebergiefsen von Selenkalium mit wässeriger Salzsäure als ein farbloses Gas, der Hydrothionsäure ähnlich riechend, von höchst nachtheiliger, Entzündung erregender Wirkung, sofern eine Blase derselben der eingeathmeten Luft beigemengt, Schnupfen und peinlichen Husten bewirkt. Das Gas wird reichlich vom Wasser verschluckt zu einer farblosen Flüssigkeit, die bei Luftzutritt das Selen als rothes Pulver absetzt. Die Verhältnisse der Hydroselensäure gegen Alkalien und schwere Metalloxyde sind denen der Hydrothionsäure analog.

Die Verbindung von 80 Selen mit 36 Chlor ist ein bräunlichgelbes Oel, die von 40:72 eine weifse feste Masse; beide sind durch Wasser zersetzbar. Das *Bromselen* ist braunroth oder gelb. Die *Selenmetalle* bilden sich unter ähnlichen Umständen, wie die Schwefelmetalle, denen sie sowohl im Aeufsern, als auch in ihren chemischen Verhältnissen sehr ähnlich sind.

G.

Sextant.

Spiegelsextant; *Sextans;* Sextant; *Sextant.*

Der Sextant, in allgemeiner Bedeutung des Wortes, ist der sechste Theil des Kreises, also ein Sector von 60 Graden. Von dieser zur reinen Mathematik gehörigen Bezeichnung kann hier nicht die Rede seyn, wohl aber von einem

itized by Google

Werkzeuge zum Messen der Winkel, welches jenen Namen erhalten hat, weil es gleichfalls nur 60 Grade der Kreistheilung enthält. Nicht alle zur Winkelmessung bestimmte Apparate dieser Art haben einen solchen Umfang, sondern es giebt auch kleinere *Sectoren* von nur wenigen Graden, die blofs zu astronomischen Zwecken bestimmt sind, und gröfsere, als *Quadranten*, *Halbkreise* und *Vollkreise*[1]. Ist endlich von solchen Sextanten die Rede, deren man sich zur Messung terrestrischer sowohl, als auch cölestischer Winkel bedient und wovon hauptsächlich Seefahrer und auf Entdeckungen ausgehende Reisende einen ausgedehnten Gebrauch machen, so versteht man hierunter die Hadley'schen oder Spiegel-Sextanten, die sich für solche Zwecke vorzugsweise eignen, weil sie keines festen Standes bedürfen, sondern, nur momentan still gehalten, die Winkel durch Coincidenz der Bilder messen.

Es scheint mir unnöthig, dieses interessante Mefswerkzeug im Einzelnen zu beschreiben und durch eine Figur zu erläutern, denn bei der Einfachheit desselben werden alle seine Theile durch den blofsen Anblick leicht kenntlich, und es wird daher genügen, den Bau desselben im Allgemeinen anzugeben und zugleich die Art des Gebrauchs und die hierbei erforderlichen Correctionen zu erläutern. Ehemals war ihr Gebrauch häufiger als jetzt, wo sie durch die sehr bequemen *Theodolithen* mehr verdrängt sind, auf der See sind sie jedoch noch immer ganz unentbehrlich, wenn sie nicht durch die auf den nämlichen Principien beruhenden Spiegelkreise von Tobias Mayer und de Borda ersetzt werden[2].

Die Sextanten bestehn aus einem Sector von 60 Graden, meistens an beiden Seiten einige Grade mehr enthaltend, was man *übergetheilt* nennt und was an der Seite, wo die Theilung

---

1 Dahin gehört hauptsächlich der repetirende Spiegelkreis, von T. Mayer erfunden, von de Borda verbessert. Die Sectoren von sehr grofsen Halbmessern, deren man sich seit Flamstead hauptsächlich zu astronomischen Messungen bediente und deren einige auch Sextanten waren, sind gegenwärtig ganz aufser Gebrauch gekommen.

2 Bei den nachfolgenden Untersuchungen sind die Hauptsachen aus Bohnenberger's vollständiger Beschreibung in: Anleitung zur geographischen Ortsbestimmung u. s. w. Gött. 1795. 8. und aus einzelnen Abhandlungen in v. Zach's monatl. Correspondenz für Erd- und Himmelskunde entnommen, aufser was mich eigene Erfahrungen gelehrt haben.

von 0 anfängt, nicht ohne wesentlichen Nutzen ist. Der Körper ist aus flachen, vom Centrum auslaufenden Stäben, die durch andere quer laufende verbunden sind, zusammengesetzt, wobei es hauptsächlich darauf ankommt, diese von geschlagenem Messing so zu machen, dafs sie die gehörige Festigkeit haben, ohne das Instrument zu schwer zu machen, weil sonst der Arm beim Halten leicht ermüdet. Die deutschen Sextanten, namentlich von Baumann in Stuttgart, sind bei übrigens grofser Vollkommenheit meistens etwas schwer, leichter sind die aus der Münchener Fabrik, sonstige kenne ich nicht aus eigener Ansicht, wohl aber englische, namentlich von Troughton, die sich durch ausnehmende Leichtigkeit bei hinlänglicher Festigkeit sehr vortheilhaft auszeichnen. Der Limbus der Sextanten ist nicht in 60, sondern in 120 Grade getheilt, also in halbe Grade statt in ganze, die aber als ganze gezählt werden, aus Gründen, die sich aus dem Folgenden ergeben. Ueber der Fläche des Sextanten bewegt sich um den Zapfen im Centrum die *Alhidade*, an deren Ende sich der Nonius befindet. Die einzelnen Grade des Limbus sind wieder in sechs Theile getheilt, deren jeder also 10 Minuten giebt, und da von diesen 59 in 60 Theile auf dem Nonius getheilt sind, so giebt jeder Theilstrich des letzteren nach den hierfür bestehenden Gesetzen[1] 10 Secunden. Schwerlich haben diese Apparate eine noch weiter gehende Theilung, wohl aber geht diese bei einigen nur bis zu 20 oder auch 30 Secunden. Auf der am einen Ende der Alhidade befindlichen runden Scheibe befindet sich der vertical stehende grofse Spiegel, welcher also mit dieser sich um das Centrum drehet, ihm gegenüber, am Körper des Sextanten befestigt, ist der kleine, gleichfalls verticale Spiegel angebracht, welcher jedoch nur zur untern Hälfte foliirt ist, indem die obere aus unbelegtem Glase besteht. Ueber der Ebene des Sextanten und mit dieser parallel befindet sich für nahe terrestrische Gegenstände eine blofse Röhre ohne Gläser, für entferntere terrestrische und cölestische Objecte aber ein astronomisches Fernrohr, welches der erforderlichen Kürze wegen nicht füglich terrestrisch seyn kann, und nur selten ist dieses mit einer Röhrenlibelle versehn, um das Instrument genau horizontal zu stellen. Durch dieses Fernrohr,

1 Vergl. *Nonius*. Bd. VII. S. 109.

dessen Axe auf die Ebene des kleinen Spiegels auf die näher zu bestimmende Weise gerichtet ist und mittelst einer Schraube höher oder niedriger gestellt werden kann, um sowohl vom foliirten Theile des kleinen Spiegels, als auch durch den nicht belegten Theil desselben die gerade erforderliche Menge Licht zu erhalten, erblickt das Auge gleichzeitig ein Object durch den unbelegten Theil des Glases und das durch den grofsen Spiegel gegen den kleinen reflectirte Bild eines andern. Für Sonnenbeobachtungen befindet sich vor dem Oculare des Fernrohrs ein Blendglas; man bedient sich desselben aber selten, sondern einzelner oder aller drei runder gefärbter Gläser, die sich durch Umdrehung um eine Axe vor den grofsen, und anderer, die sich vor den kleinen Spiegel bringen lassen. Sie bestehn beide aus einem rothen, einem grünen und einem blauen Glase, die den gröfsten Theil der Lichtstrahlen der Sonne zurückhalten und dadurch das Brennen verhüten. Der Halbmesser der Sextanten beträgt selten 13 Zoll, häufiger 12 Z., noch öfterer 10 Zoll, und so herabwärts bis 5 Zoll, wonach sie 12, 10, 8 u. s. w. zollige genannt werden; man hat sie aber noch kleiner, bis auf die sogenannten *Dosensextanten* herab. Diese letztern werden blofs in der Hand gehalten, und hierzu dient eine unter dem Instrumente befindliche, mit seiner Ebene parallele, an ihren beiden Enden befestigte Handhabe oder ein gleichfalls in die untere Ebene lothrecht eingeschraubter Handgriff, die man mit der vollen rechten Hand festhält, um den Sextanten in jede Ebene zu bringen und die Alhidade mit der linken gehörig zu verschieben. Bei der Anwendung eines Stativs, dessen man sich blofs bei vorhandenem festem Fundamente, also nicht auf einem bewegten Schiffe bedienen kann, wird die genannte Handhabe mit einem in ihrer Mitte befindlichen Loche auf einen Zapfen des Stativs gesteckt und festgeschraubt; das Stativ ist aber so eingerichtet, dafs die Ebene des Sextanten sowohl horizontal als auch vertical und in jeden hierzwischen liegenden Neigungswinkel gebracht werden kann.

Der Spiegelsextant wurde am frühesten durch Newton erfunden und sollte dazu dienen, auf der See ungeachtet der Schwankungen des Schiffes den Abstand der Sterne vom Monde zu messen. Allerdings hat nach der Angabe von Sprat[1] auch

1 History of the Royal Soc. p. 246.

Digitized by Google

Hooke von einem Werkzeuge geredet, vermittelst dessen Winkel durch Spiegelung gemessen werden sollten, allein dieses hat nur einen Spiegel und weicht also wesentlich von denen ab, wobei zwei Spiegel erforderlich sind. Schon im Jahre 1700 sandte Newton die Beschreibung und Zeichnung seines Instrumentes an Halley, dieser aber legte entweder auf die Erfindung wenig Werth, oder verlor das Manuscript unter seinen Papieren, wo man es erst nach dessen Tode 1742 fand und bekannt machte[1]. Da Hadley mit Newton bekannt war, so ist leicht möglich, dafs Letzterer sich über das Princip dieser Art der Winkelmessung gegen ihn äufserte oder ihm die ganze Construction angab, indefs kann auch die Erfindung allerdings durch ihn allein gemacht worden seyn, wie man allgemein annahm, als die Beschreibung dieses Instrumentes in den Verhandlungen der Societät von 1731 erschien, welches nach dem Erfinder Hadley's Sextant genannt wurde. Auch Godfrey zu Philadelphia hat ein solches Werkzeug zum Winkelmessen vermittelst doppelter Spiegelung construirt, und seiner Behauptung nach ohne Kenntnifs des englischen, weswegen er in seinem Vaterlande verschiedentlich als Erfinder betrachtet wird[2]. Inzwischen wurde der Hadley'sche Sextant oder Octant in England ziemlich bald allgemeiner bekannt, man war jedoch noch nicht im Besitze der Mittel einer genauen und hinlänglich feinen Theilungsmethode, bis Ramsden 1763 seine Theilmaschine erfand, die er 1773 bedeutend verbesserte, wofür er 315 Pfd. Sterl. und 300 Pfd. Sterl. Gratification erhielt, nachdem er sich anheischig gemacht hatte, alle für englische Seefahrer bestimmte Sextanten um den Preis von 3 Shill. und, wenn sie bis 30 Sec. zeigten, um 6 Shill. zu theilen[3].

Newton's grofser Name verdient wohl, dafs die Geschichte seiner Erfindung und die Kenntnifs des von ihm vorgeschlagenen Instruments erhalten werde, obgleich man jetzt keinen Gebrauch mehr davon macht. Dasselbe besteht aus einem Octanten von Messing PQRS, dessen Limbus in halbe Grade, Fig. 324.

1 Phil. Trans. 1742. p. 155.

2 Trans. of the Amer. Phil. Soc. T. I. p. 21. App.

3 Vergl. Jesse Ramsden's Description of an engine for dividing math. Instruments. Lond. 1777. H. I. G. Geisler über die Bemühungen der Gelehrten und Künstler, math. und astron. Instrumente einzutheilen. Dresd. 1792.

halbe Minuten und vermittelst Transversalen in Zwölftel Minuten getheilt ist, die, wie beim jetzigen Sextanten, einen doppelten Werth haben. A B ist ein Fernrohr, welches auf dem Rande des Octanten festsitzt. G bezeichnet einen Spiegel, welcher auf der Messingplatte lothrecht steht und möglichst nahe am Objectivglase des Fernrohrs, gegen dessen Axe er um 45 Grade geneigt ist, zugleich aber nur die Hälfte des Objectivglases deckt, so dafs man gleichzeitig das gespiegelte Bild und über diesen Spiegel hinaus das Object sieht. C D ist die bewegliche Alhidade, deren Rand bei D die Theile des Limbus genau zeigt, das Centrum des Drehpunctes bei C aber mufs der Mitte des Spiegels G genau gegenüberstehn. Auf der Alhidade ist ein zweiter Spiegel H so befestigt, dafs der nämliche Stern durch das Fernrohr unmittelbar und durch die Reflexion von beiden Spiegeln gesehn wird, wenn beide Spiegelflächen einander parallel sind und der Index auf 0 zeigt; wird aber die Alhidade fortgerückt und hierdurch zugleich der auf ihr stehende Spiegel gedreht, so kann man hierdurch die Bilder von zwei verschiedenen Sternen zur Deckung bringen, wobei die Theilung auf dem Limbus den Winkel angiebt, welchen beide mit einander machen. Newton bestimmte dieses Werkzeug zunächst zum Messen des Abstandes zwischen dem Monde und beliebigen Sternen und giebt daher genau die Anweisung, man solle das Fernrohr auf einen Stern richten, dann den Limbus so weit verschieben, bis das Bild des gesehenen Sternes den Rand des Mondes berühre. Der Index werde dann den Abstand des Sternes vom Monde angeben und diese Messung lasse sich auch ungeachtet des Schwankens des Schiffes vollführen. Es müsse aber die Berührung des Sternes am innern und nicht am äufsern Rande des Mondes statt finden. Auch die Höhenmessungen vermittelst dieses Octanten kannte Newton, denn er giebt an, man solle den Mond oder den Stern mit dem Horizonte in Berührung bringen, so könne man hierdurch die Breite und die Zeit genauer bestimmen, als durch die bis jetzt angewandten Mittel[1].

Man übersieht leicht, dafs in dieser kurzen Andeutung die ganze Theorie des Hadley'schen Sextanten und der diesem nachgebildeten Winkelmefswerkzeuge durch doppelte Spiege-

1 Phil. Trans. 1742. p. 155.

lung enthalten ist, die wegen der vielfachen Anwendung hauptsächlich des Sextanten noch etwas näher bezeichnet werden möge. Es sey α die Rückseite des grofsen und β die des kleinen Spiegels, beider Ebenen einander parallel gedacht. Ueber den letztern hin ist das Fernrohr von a und b auf einen Stern gerichtet, welcher sich in so grofser Entfernung befinden möge, dafs dagegen der Abstand der beiden Spiegel eine verschwindende Gröfse ist. Diesemnach wird im Fernrohre a gleichzeitig der Stern unmittelbar durch den unbelegten Theil des kleinen Spiegels β und das von α gegen β und von β in das Fernrohr gespiegelte Bild desselben gesehn werden; beide Bilder, das unmittelbar gesehene und das doppelt reflectirte, fallen zusammen oder decken sich, man sieht nur ein Bild. In dieser Lage zeigt der Index bei g auf 0 der Theilung des Limbus. Befindet sich ein zweiter Stern in s'', so fällt das von ihm reflectirte Bild nicht mehr in der Richtung $\alpha\beta$ auf den kleinen Spiegel, sondern wird in einer Bahn reflectirt, die mit $\beta\alpha$ den Winkel $s'\alpha s''$ einschliefst, und sollen also diese beide durch Spiegelung bedingte Winkel compensirt werden und beide Bilder in eins zusammenfallen, so mufs man den Spiegel um den halben Winkel drehen; der Index der Alhidade bei g durchläuft also diesen halben Winkel, welcher jedoch auf dem Limbus zu gröfserer Bequemlichkeit nur die halbe Gröfse in der Theilung erhalten hat, mithin zeigt der Nonius denjenigen Winkel, welchen beide Sterne mit einander im Auge des Beobachters bilden, wenn sie scheinbar zusammenfallen. Hieraus folgt also der allgemeine Satz: *der Sextant giebt vermöge der um die Hälfte verkleinerten Theilung seines Limbus denjenigen Winkel an, welchen zwei Körper bilden, wenn man durch Drehung des grofsen Spiegels die beiden Bilder derselben, das unmittelbar gesehene des einen und das von beiden Spiegeln reflectirte des andern, zusammenfallen läfst.* Es fällt hierbei von selbst in die Augen, dafs beide Körper vermöge der willkürlichen Lage, die man dem Sextanten geben kann, in jeder beliebigen Ebene liegen können und dafs diese Winkelmessung aller Schwankungen ungeachtet statt finden kann, wenn man nur beide Bilder einen Moment zur Deckung bringt. Fig. 325.

Will man Höhenwinkel mit dem Sextanten messen, so erzeugt man ein künstliches Bild des Gegenstandes und mifst den Winkel, welchen dieses mit dem wirklichen Objecte bil-

det, indem man das unmittelbar betrachtete künstliche Bild mit dem wirklichen durch doppelte Spiegelung erhaltenen zur Berührung bringt. Zu diesem Ende sey HH′ die horizontale Fläche, die entweder durch den Spiegel der ruhigen See oder durch einen künstlichen Horizont gegeben ist und welche das von S auffallende Bild in S′ reflectirt; dieses letztere, durch das Fernrohr betrachtete, wird mit dem in C vom grofsen Spiegel reflectirten und nach abermaliger Spiegelung durch den kleinen Spiegel im Fernrohr gesehenen eigentlichen Bilde zur Berührung gebracht, so mifst der Sextant den Winkel SCS′. Dieser Winkel bei C ist aber für einen durch die grofse Entfernung des Objectes verschwindend kleinen Winkel S der Summe der Winkel φ und ψ gleich, und da letztere beide einander gleich sind, der Sextant aber vermöge seiner Theilung den Winkel C angiebt, so ist $C = 2\varphi$. *Bei Messungen von Höhenwinkeln giebt also der Sextant die doppelte Höhe des Objectes über dem Horizonte oder den doppelten Winkel an, welchen der vom Objecte kommende Lichtstrahl mit der Ebene des Horizontes bildet.*

Fig. 326.

Die *Horizonte*, auch *künstliche Horizonte* genannt, zum Unterschiede des eigentlichen Horizontes für jeden Punct der Erdoberfläche, bestehn aus einer vollkommen horizontalen und zugleich ein hinlänglich scharfes Bild reflectirenden Ebene, zum Ersatze der ruhigen, spiegelnden Meeresfläche auf den Schiffen. Es eignen sich hierzu vorzüglich Flüssigkeiten, deren Oberfläche nach hydrostatischen Gesetzen von selbst diese Ebene herstellt; die gröfste Fluidität würde also die bedeutendsten Vorzüge für diesen Zweck darbieten, wenn hiermit nicht zugleich die leichteste Beweglichkeit durch jede Erschütterung und durch den leisesten Wind beim Gebrauche im Freien verbunden wäre. Die Gröfse der spiegelnden Fläche ist willkürlich, sie darf jedoch nicht kleiner seyn, als erfordert wird, das Object vollständig zu spiegeln; da aber diese Bedingung selbst bei der Sonne und dem Monde nur eine sehr kleine Fläche erfordern würde, dann aber das Bild nicht bequem gefunden werden könnte, so giebt man den vierkantigen Horizonten eine Fläche von 4 bis 16 Quadratzoll, den runden aber einen Durchmesser von 2 bis höchstens 6 Zoll, wenn anders nicht das zufällig vorhandene Gefäfs eine Abweichung hiervon herbeiführt. Die verschiedenen Horizonte sind hauptsächlich folgende.

1) *Wasserhorizont*, reines Wasser in einem inwendig schwarzen Gefäfse, um blofs von der Oberfläche ein Bild zu erhalten. Solche Horizonte sind zwar überall leicht zu haben und geben ein sehr gutes Bild, aber die Substanz ist durch den geringsten Luftzug allzuleicht beweglich.

2) *Quecksilberhorizonte* sind von zweierlei Art; entweder bestehn sie aus einer kleinen runden Büchse, worin eine andere niedergedrückt wird, so dafs das Quecksilber durch ein kleines Löchelchen aufsteigt, oder aus einem viereckigen Kästchen, etwa 4 Zoll lang, 3 Zoll breit und 4 Lin. hoch, in welches das Quecksilber aus dem zum Transporte dienenden Gefäfse durch einen feinen papiernen oder hölzernen Trichter geschüttet wird, damit der leicht auf demselben befindliche Staub und Schmutz zurückbleibe. Uebrigens liegt in der Natur der Sache, dafs man jedes geeignete Gefäfs, ein flaches Glas, eine Untertasse, einen Teller u. s. w. nehmen, das Quecksilber auf die angegebene Weise hineinschütten und auf diese Art einen künstlichen Quecksilberhorizont erhalten könne. Das Quecksilber hat zwar eine weit geringere Fluidität, als das Wasser, dennoch aber wird es leichter durch den Wind bewegt, als man hiernach glauben sollte. Das gespiegelte Bild erhält dann eine höchst unangenehme zitternde Bewegung und läfst sich nicht gut mit dem doppelt gespiegelten zur Coincidenz bringen. Man versieht daher die Kästchen mit einem aus Glasscheiben zusammengesetzten Dache oder bedeckt sie mit einer Glasscheibe; das Erstere ist jedoch am gewöhnlichsten, weil man dadurch die von den Glasflächen reflectirten (durch ihre geringere Intensität kenntlichen) Bilder vermeidet. Es ist indefs schwer, Glasscheiben mit genau parallelen Flächen zu erhalten, in deren Ermangelung der Lichtstrahl eine Brechung erleidet und der gemessene Winkel um die Gröfse des Brechungswinkels unrichtig wird. Man wählt daher statt der Glasscheiben dünne Glimmerblättchen, wobei die Flächen in der Regel vollkommen parallel sind, die jedoch wegen ihrer geringen Dicke beim Transportiren leicht zerbrechen. Um aber den Parallelismus der Flächen bei den Scheiben des gläsernen Daches zu prüfen, wird die Höhe irgend eines unbeweglichen Objectes genau gemessen, dann der Horizont umgedreht und abermals gemessen; beide Gröfsen müssen bei völligem Parallelismus der Flächen gleich seyn, im entgegengesetzten Falle

Digitized by Google

giebt der Unterschied beider Messungen den doppelten Fehler an. Die Gläser der englischen Dächer sind in der Regel genau parallel.

3) *Oelhorizont.* Hierzu nimmt man am besten eine blechene Büchse, rund, von 3 bis höchstens 5 Zoll Durchmesser und mit einem genau schliefsenden Deckel versehn. Diese füllt man einige Linien hoch mit gutem alten, nicht leicht eintrocknenden Olivenöle, worunter man vorher etwa zwei bis drei gehäufte Theelöffel voll Kienrufs geschüttet, die Masse tüchtig umgerührt und dann durch mäfsig dicht gewebte Leinwand filtrirt hat. Das Oel bildet eine grünlich scheinende, sehr ebene, ein vortreffliches, nicht zu grelles, Bild reflectirende Oberfläche und widersteht vermöge seiner Klebrigkeit den Erschütterungen und leichten Luftbewegungen bei weitem am besten, so dafs die Oelhorizonte vor allen andern den Vorzug haben, jedoch verursachen sie leicht eine unangenehme Beschmutzung, da auch die am festesten schliefsenden Deckel meistens etwas Oel durchdringen lassen und man beim Oeffnen und Schliefsen derselben einige Berührung mit der Fettigkeit nicht leicht vermeidet. Beim Transporte schüttet man das Oel auch wohl in eine gut verkorkte gläserne oder irdene Flasche.

4) Ein *Weingeisthorizont* besteht aus einer runden messingnen Büchse, die mit Weingeist gefüllt und mit einer an der untern Seite mattgeschliffenen Glasplatte bedeckt ist, gleicht also einer Dosenlibelle. Die Weingeistfläche und die ihr parallele Fläche der bedeckenden Spiegelscheibe, die das Bild spiegeln soll, sind horizontal, wenn die Luftblase im Innern sich gerade in der Mitte befindet, und das Mattschleifen der untern Fläche befördert hierbei das leichtere Anhängen des Weingeistes; zum Einstellen aber dienen dann drei hölzerne Schrauben besser als metallene, weil diese sich durch die Wärme ausdehnen und das Einstellen erschweren.

5) *Glashorizonte.* Diese bestehn aus einer runden, dicken, auf der untern Fläche mattgeschliffenen, auf der obern fein polirten Glasplatte, damit die letztere Fläche allein das erforderliche Bild reflectirt. Diese Platte läfst man entweder auf einer Quecksilberfläche schwimmen, wobei man aber allen Schmutz zwischen beiden sich berührenden Flächen vermittelst eines Blattes Druckpapier entfernt, welches man auf das

Digitized by Google

Quecksilber unter die Platte legt und dann langsam unter der Glasscheibe wegzieht, oder man legt dieselbe auf eine mit drei hölzernen Stellschrauben versehene Unterlage von Holz, Biscuit, Marmor, Serpentin u. s. w. und nivellirt sie mit einer feinen Röhrenlibelle in die horizontale Lage ein. Diese Horizonte haben den Vortheil, dafs sie dem Einflusse mäfsig starker Luftbewegungen und leichter Erschütterungen nicht ausgesetzt sind, allein die auf Quecksilber schwimmenden können durch Schmutz und anklebende Luftblasen ungleich tief einsinken, jedoch ist dieses bei der Anwendung des angegebenen Verfahrens weniger zu befürchten, als dafs aus ihrer ungleichen Dicke Fehler entspringen. Dieses kann geprüft werden, wenn man zuerst die Höhe eines feststehenden Gegenstandes mit dem blofsen Quecksilber und dann mit aufliegender Glasplatte mifst, oder wenn man die nämliche Höhenmessung nach einer Umdrehung der Platte um 90 und 180 Grade wiederholt. Die festliegenden Glasplatten erfordern sehr feine Libellen und können während der Messung durch verschiedene Ursachen leicht aus der horizontalen Lage kommen.

Die Winkelmessung mit Sextanten giebt nur dann richtige Resultate, wenn das Instrument wirklich so construirt ist, als die Theorie es erfordert, was jedoch nicht allezeit der Fall ist und bis zu einer gewissen Grenze überall nicht seyn kann. Es ist daher nothwendig, ein jedes Individuum vor dem Gebrauche zu prüfen und die etwa gefundenen Fehler durch die geeigneten Mittel zu corrigiren, worüber hier noch einige Regeln kurz mitzutheilen sind.

1) Ob die beiden Flächen jedes der beiden Spiegel parallel sind, prüft man des Abends vermittelst eines hellen Sternes. Giebt dieser ein doppeltes Bild, so sind sie nicht parallel, und es ist unmöglich, diesem Fehler abzuhelfen.

2) Die Spiegel sollen vertical auf der Ebene des Sextanten stehen. Beim grofsen Spiegel prüft man dieses vermittelst zweier gleich hoher und auf einer ebenen Spiegelplatte vorher genau zugerichteter Diopter, wovon der eine mit einem feinen Löchelchen, der andere mit einem horizontalen Pferdehaare versehn ist. Dann legt man den Sextanten auf eine horizontale Ebene, zieht die Alhidade ganz zurück, stellt den Diopter mit dem Haare dicht vor den grofsen Spiegel, den andern auf den Limbus, und visirt in den Spiegel, wobei das

Haar und sein Bild im Spiegel sich decken müssen. Ist dieses nicht der Fall, so corrigirt man den Fehler mittelst der hierfür bestimmten Correctionsschrauben. Ist dieses geschehn, so prüft man den kleinen Spiegel dadurch, dafs man den Sextanten gegen ein scharf begrenztes Object richtet, z. B. einen Schornstein, und versucht, ob beide Bilder desselben sich genau decken.

3) Wenn die Axe des Fernrohrs mit der Ebene des Sextanten nicht parallel ist, so wird die Messung fehlerhaft. Um diesen Fehler zu corrigiren, mufs zuvor der Winkel, welchen beide mit einander machen, ausgemittelt werden. Dieses geschieht, indem man den Sextanten horizontal legt, die beiden genannten Dioptern aufsetzt, die Axe des Fernrohrs mit diesen in eine Ebene bringt und durch die Dioptern sowohl als auch durch das Fernrohr nach demselben Gegenstande visirt. Machen beide Lichtstrahlen einen in einer verticalen Ebene liegenden Winkel mit einander oder liegen beide gesehene Bilder nicht in der nämlichen horizontalen Ebene, so ist das Fernrohr der Fläche des Sextanten nicht parallel. Man kann diesen Winkel genau genug mit dem nämlichen Sextanten nach dem Augenmafse messen und, wenn er bekannt ist, den Fehler der Messungen corrigiren. Heifst nämlich der gemessene Winkel $= \alpha$, der Neigungswinkel des Fernrohrs $= p$, der corrigirte Winkel $= \delta$, so ist

$$\text{Sin. } \tfrac{1}{2}\,\delta = \text{Cos. p. Sin. } \tfrac{1}{2}\,\alpha\,.$$

Wäre $\alpha = 40^{\circ}$, $p = 12'$, so würde $\delta = 39^{\circ}\,59'\,59'',2$, wonach sich die Gröfse der hieraus entspringenden Fehler beurtheilen läfst.

4) Wenn beide Spiegel einander parallel sind und die Bilder eines entfernten Gegenstandes sich genau decken, so mufs der Index auf 0 stehn; bei einer nicht vollendeten Ausführung des Instrumentes durch den Künstler kann aber der Nullstrich des Nonius sowohl vor als hinter den Anfang der Theilung auf den Limbus fallen. Man nennt dieses den Fehler des Index, gewöhnlicher *Collimationsfehler*, und macht ihn bei wirklichen Messungen durch Rechnung unschädlich, weil eine Correction desselben am Instrumente Vorrichtungen erfordern würde, die mit der Haltbarkeit desselben unvereinbar sind. Die Gröfse des Fehlers wird am besten aufgefunden, wenn man den Nonius auf 0 stellt und das Bild der

Digitized by Google

Sonne betrachtet, welches dann nur einfach seyn mufs, indem beide erzeugte Bilder sich decken. Findet man das eine Bild über das andere überstehen, so bringt man beide vermittelst der Mikrometerschraube des Nonius zur vollständigen Deckung, und der Winkel, welchen dann der Limbus angiebt, ist der genannte Fehler, welcher entweder in die Theilung fällt, also positiv ist und abgezogen werden mufs, oder vor die Theilung (vor den Nullpunct derselben), also als negativ addirt wird. Wohl noch genauer findet man diesen Fehler, wenn man beide Sonnenbilder zuerst an der einen Seite derselben, dann an der andern zur Berührung bringt (den Durchmesser der Sonne mifst) und beidemale den gemessenen Winkel abliest. Der Unterschied derselben giebt den gesuchten Fehler gleichfalls entweder positiv oder negativ. Meistens haben die Sextanten für die doppelte Messung so kleiner Winkel noch einige gehörig getheilte Grade vor dem Anfange der eigentlichen Theilung; Anfänger thun aber wohl, sich durch diese Operation im Gebrauche des Sextanten zu üben, da der auf beide Arten gefundene Fehler gleich grofs seyn oder, wie bei den besten Instrumenten, gar keiner vorhanden seyn mufs, wenn richtig gemessen ist.

Die Sonne ist zwar für diese Operation am besten geeignet, man kann sie aber auch bei entfernten irdischen Gegenständen, als namentlich Thurmknöpfen u. s. w., vornehmen. Hierbei ist aber die Parallaxe des Sextanten wohl zu berücksichtigen, welche sich auf folgende Weise am besten erläutern läfst. Geht die Gesichtslinie vom Puncte x aus durch das Fig. 327. Fernrohr nach dem Objecte M und sind die Spiegel wirklich parallel, so müfste das Object M nach M′ rücken, um gleichzeitig durch Spiegelung und unmittelbar wahrgenommen zu werden. Der Winkel $dMc = McM'$ ist also der parallaktische Winkel und dc dessen Tangente. Weil aber in diesem Falle das zweite Bild nicht gesehn werden kann, so mufs der grofse Spiegel um $\frac{1}{2}dMc$ gedreht werden, der parallaktische Winkel fällt also mit dem Collimationsfehler zusammen und kann bei der Verfertigung des Instrumentes schon verbessert worden seyn, allein die Gröfse desselben ist der Entfernung des Objectes M umgekehrt proportional und für sehr entfernte Gegenstände ist Tang. $\frac{1}{2}cMd$ eine verschwindende Gröfse, weswegen auch die Sonne zur Auffindung des Collimationsfehlers

sich am besten eignet. Ist das Object dagegen näher, z. B. in M″, so mufs nothwendig ein parallaktischer Fehler entstehn, und man mufs daher bei genauen terrestrischen Messungen, wenn die Gegenstände nicht sehr entfernt sind, diesen Fehler durch die angegebene Methode aufsuchen und mit in Rechnung bringen[1].

5) Die Blendgläser müssen genau parallele Flächen haben, weil sie sonst den Lichtstrahl brechen, von der geraden Richtung entfernen und einen Winkel in die Messung einführen. Man findet diesen, wenn man zuerst mit Anwendung der Blendgläser mifst, dann diese wegnimmt und ein Blendglas vor das Fernrohr bringt. Am einfachsten ist das Verfahren, den Collimationsfehler mit den nämlichen Gläsern zu untersuchen, womit man nachher die wirkliche Messung vornehmen will, dann fällt der Fehler der Gläser, wenn einer vorhanden ist, hiermit zusammen.

6) Um zu wissen, ob der Nonius fehlerfrei ist, mufs man denselben über den ganzen Limbus von 5° zu 5° fortschieben und nachsehn, ob er jederzeit auf den nämlichen Theilstrich einschneidet, welches dann der Fall seyn wird, wenn beide Theilungen vollkommen genau sind. Ist dieses nicht der Fall, so mufs man die Unterschiede aufschreiben, und wenn dann die Summe der + und — zu Null sich ausgleicht, so ist der Nonius fehlerfrei und die Fehler liegen in der Theilung des Limbus; bleibt aber ein Ueberschufs, so liegt der Fehler im Nonius und mufs bei den Messungen corrigirt werden. Bei der relativen Richtigkeit der Theilungen könnte jedoch der Limbus absolute Fehler haben. Um diese aufzufinden, darf man nur berücksichtigen, dafs die Summe aller in einem Kreise befindlichen Winkel 360 Grade beträgt. Wenn also vermittelst hinlänglich entfernter Gegenstände alle diese Winkel rundum gemessen und addirt werden, so mufs ihre Summe jene Gröfse betragen, vorausgesetzt dafs die Theilung des Instrumentes richtig sey. Bei beiden Operationen ist indefs eine nur durch Uebung erreichbare Genauigkeit der Messungen unerläfslich, denn sonst würden die hierbei begangenen Fehler dem Sextanten mit Unrecht beigelegt werden.

Die *Feinheit der Theilstriche* bei Sextanten läfst sich auf

---

1 Vergl. Art. *Collimation.* Bd. II. S. 173.

folgende Weise ausmitteln. Es werde angenommen, dafs mit dem Nonius von 10 zu 10 Secunden abgelesen werde. Wenn dann zwei Theilstriche coincidiren, so wird der nächste etwa um den vierten Theil eines Theilstriches und der folgende um einen halben Theilstrich überstehn. Findet also keine vollkommene Coincidenz statt, so könnte im Minimum etwa der vierte Theil eines Theilstriches, der einer Gröfse von 2,5 Secunden zugehört, geschätzt werden, und bis zu dieser Grenze liefse sich also die Messung treiben, wenn man das Ueberstehn der Theilstriche rechts und links vergleicht. Die Dicke der Theilstriche beträgt hiernach $10:\frac{1}{4}=40$ Secunden und, da der Sextant doppelt getheilt ist, 20 Secunden. Nach dem Verhältnisse des Kreises zum Halbmesser ist aber für die Dicke eines Theilstriches = b und den Halbmesser = a der Winkel des Theilstriches $=\frac{b}{a}$. 206264 Secunden[1]; hier ist also für einen Halbmesser von 10 Zoll die Dicke eines Theilstriches $=\frac{20''}{206264''}\times 10$ Zoll oder 0,011635.... Linien.

M.

Sideroskop.

Im Anfange dieses Jahrhunderts gab Ritter ein Instrument an, dem er diesen Namen beilegte und welches nach Art der Wünschelruthe die Anwesenheit verborgenen Metalles, namentlich des Eisens, darthun sollte. Da ich jedoch die Stelle, wo ich diese Notiz gelesen habe, nicht wieder auffinden kann, man auch später keine Rücksicht darauf genommen hat, so scheint es mir genügend, ohne weitere Untersuchung diese von mir im Gedächtnifs behaltene Thatsache hier mitzutheilen.

Neuerdings hat Le Baillif[2] einen Apparat construirt, welcher im Wesentlichen mit Nobili's magnetischer Doppelnadel übereinkommt, und hat diesen mit dem Namen Sidero-

---

1 Vergl. J. T. Mayer prakt. Geometrie. Th. I. S. 3. u. 350.

2 Globe 1827. Avril. 3. Daraus in Edinb. Journ. of Science N. XIII. p. 184. Ferrussac Bullet. des Sciences math. et phys. 1827. N. VII. p. 87.

Digitized by Google

skop belegt, weil er dazu dienen soll, durch seine grofse Empfindlichkeit die geringsten Spuren vorhandenen Eisens vermittelst dessen Einwirkung auf die Magnetnadel aufzufinden. Nach den Resultaten der Versuche von ihm selbst und hauptsächlich auch von BECQUEREL[1] war jedoch der vorhandene Magnetismus nicht in allen Fällen dem vorhandenen Eisen beizumessen, sondern vielmehr durch Wärme hervorgerufen und also zum Thermomagnetismus gehörend, wie namentlich die Polarität, die beim Wismuth und Spiefsglanz entdeckt wurde. SAIGEY[2] hat bald nachher die beim Sideroskop zum Grunde liegende Idee nicht sowohl auf eine neue, als vielmehr auf eine blofs abgeänderte, aber für die Ausführung ungleich bequemere Weise in Anwendung gebracht. Es scheint mir jedoch unnöthig, sowohl die eine als auch die andere angegebene Construction dieses Apparates ausführlich mitzutheilen, weil die Beachtung der hierbei zum Grunde liegenden Principe den Physiker ungleich besser in den Stand setzt, solche dem jedesmaligen Zwecke am meisten angemessen zu construiren, als eine strenge Beibehaltung der bereits gemachten Proben. Die Hauptsache dabei ist ein *Coulomb'scher Waagebalken*, welcher am besten aus einem feinen Gras- oder Strohhalme verfertigt wird, da er möglichst leicht seyn mufs, um von einem sehr feinen Faden getragen zu werden, aufserdem aber den Drehungswiderstand dieses Fadens und das Trägheitsmoment des Waagebalkens auf ein Minimum herabzubringen; abgesehn davon, dafs ein solcher Halm an sich für Magnetismus und Elektricität im höchsten Grade neutral ist. Um denselben gerade zu machen, klemmt man ihn am obern Ende in einem Halter (einem Schraubstocke) fest, so dafs er lothrecht herabhängt, beschwert ihn am untern vermittelst einer zweiten Klemme mit so viel Gewicht, als er tragen kann, benetzt ihn stark und läfst ihn so ausgereckt trocknen. Die Empfindlichkeit der Drehwaage ist der Länge des Waagebalkens direct proportional und man macht ihn daher auch bei diesem Apparate so lang, als es den Umständen gemäfs geschehn kann; man hat bisher solche von 12 bis 16 Zoll Länge in Anwen-

---

1 Ann. Chim. Phys. T. XXV. p. 269.

2 Ferrussac Bullet. des Sc. math. et phys. 1828. N. II. p. 89. Wiener Zeitschrift Th. IV. S. 492.

Digitized by Google

dung gebracht, jedoch ist dieses noch keineswegs die höchste erreichbare Gröfse, denn auch bei 24 Zoll Länge würde ein einfacher Coconfaden hinreichend seyn, ihn sammt den beiden kleinen Magneten zu tragen, sobald er hinlänglich dünn und völlig trocken ist. In die beiden Enden des Halmes werden zwei stark und gleichmäfsig magnetisirte Nähnadeln, mit ihren gleichnamigen Polen einander entgegengerichtet, hineingesteckt, doch kann man auch die Nadeln in einen dünnern Halm stecken und diesen in die Enden des Waagebalkens schieben, um durch weiteres oder kürzeres Herausziehn das Gleichgewicht genau herzustellen. Sind beide Arme des Waagebalkens einander ganz gleich und beide Nadeln von gleich starkem Magnetismus, so bilden sie einen astatischen Magnet, welcher also in jeder Lage ruhen kann und dessen Richtung blofs von der Torsion des tragenden Fadens abhängt. Um den hieraus erwachsenden Widerstand auf ein Minimum herabzubringen, wählt man den Faden etwas lang, von 4 bis 12 Zoll und nach Umständen noch darüber, auch dürfte ein einfacher Coconfaden bis zum sogenannten ungezwirnten Seidenfaden der Knopfmacher die Grenzen abgeben, zwischen denen man den tragenden Faden zu wählen hat. Dafs auch der einfache Coconfaden einen Torsionswiderstand ausübe, ist bekannt und man kann sich leicht davon überzeugen, wenn man ein kleines Häkchen aus Silberdraht von etwa $\frac{1}{20}$ Lin. Durchmesser daran aufhängt, welches nach vielen Schwankungen stets wieder die nämliche Lage annimmt, allein für einen 6- bis 8zolligen Hebelarm ist dieser Widerstand so gering, dafs er kaum hinreicht, den Waagebalken stets wieder in die nämliche Lage zu bringen, die kleinste, kaum zu berechnende Kraft wird ihn aber zu bewegen im Stande seyn.

Der Apparat ist blofs dann vollkommen astatisch, wenn beide Magnete, wozu man am besten feine Nähnadeln wählt, gleich stark magnetisirt sind. Inzwischen ist diese Aufgabe sehr schwierig, wo nicht unmöglich, indem die Stärke und Dauer des im Stahle erzeugten Magnetismus von mancherlei Bedingungen abhängt[1], die der Physiker nicht stets vollkommen in seiner Gewalt hat; findet jedoch eine kleine Ungleichheit statt, so dafs der Waagebalken durch die stärkere Nadel

1 Vergl. *Magnet.* Abschn. XV.

Digitized by Google

vermöge des tellurischen Magnetismus stets in einer gewissen Richtung erhalten wird, so ist die dieses bedingende Differenz so gering, dafs hierdurch die Anwendbarkeit des Apparates keineswegs leidet. Man kann jedoch diesem Umstande dadurch begegnen, dafs man an der einen Seite noch eine dritte sehr kleine magnetisirte Nadel anbringt, die durch eine geeignete magnetische Kraft und gehörige Entfernung vom Drehpuncte des Waagebalkens die geringere Stärke der einen Nadel gerade compensirt. Es scheint mir, als habe Le Baillif dieses bei seinem Apparate ursprünglich bezweckt und daher am einen Hebelarme zwei magnetisirte Nadeln, am andern aber nur einen kleinen Magnet angebracht.

Dafs dieser Apparat eine grofse Empfindlichkeit haben müsse, liegt in seiner Construction, und er kann also allezeit dann mit Vortheil angewandt werden, wenn es auf die Entdeckung der kleinsten magnetischen Actionen abgesehn ist; allein seine Feinheit beruht ausschliefslich auf seiner leichten Beweglichkeit und es fehlt ihm die Stärke der magnetischen Kraft, die in den kleinen Nadeln nur gering seyn kann. Insofern aber ein magnetischer Pol um so viel stärker durch Eisen oder einen andern magnetischen Körper afficirt wird, je gröfsere Intensität des Magnetismus ihm eigen ist, mufs er der astatischen Doppelnadel Nobili's nachstehn, die eben hierdurch auch dann noch sehr empfindlich ist, wenn sie bei gröfserem Gewichte der beiden Magnetstäbe mit einem Achathütchen auf einer feinen Stahlspitze ruht.

M.

Silber.

Argentum; Argent; *Silver.*

Findet sich theils gediegen, theils in Verbindung mit andern Metallen, wie Gold, Quecksilber, Antimon, Arsenik, mit Schwefel, wozu auch mehrere complicirte Schwefelmetalle zu zählen sind, mit Selen, mit Iod und mit Chlor. Es wird, gleich dem Golde, entweder durch die Bleiarbeit oder durch die Amalgamation gewonnen.

Das Silber krystallisirt in Okfaëdern, zeigt nach dem Schmelzen 10,48, nach dem Schmieden 10,51 spec. Gewicht

Digitized by Google

und ist das weifseste und nach dem Golde das dehnbarste Metall. Es schmilzt in starker Rothglühhitze, leichter als Kupfer, und läfst sich im Sauerstoffgasgebläse zum Sieden bringen. Im geschmolzenen Zustande zeigt es die bei keinem andern Metalle nachgewiesene Eigenschaft, Sauerstoffgas aus der Luft zu verschlucken, ohne den metallischen Zustand zu verlieren, welches beim Erstarren sich wieder gasförmig entwickelt und, wenn durch rasches Abkühlen die Oberfläche des Silbers erstarrt, während das Innere noch flüssig und sauerstoffhaltig ist, sich mit Gewalt durch die Kruste Bahn macht und das zackige Auswachsen oder das Spritzen des Silbers im Moment des Erstarrens veranlafst.

Das Silber bildet mit Sauerstoff: 1) Das *Silberoxyd* (108 Silber auf 8 Sauerstoff) durch Fällen des salpetersauren Silberoxyds mit Kali oder Baryt, als ein braunes Pulver zu erhalten, durch Licht oder Glühhitze in Sauerstoffgas und Silber zersetzbar. Die Salze dieses Oxyds sind farblos, wenn die Säure keine Farbe besitzt, zeigen, wenn sie löslich sind, einen sehr metallischen Geschmack und schwärzen organische Körper bei Einwirkung des Lichts. Sie liefern beim Schmelzen mit kohlensaurem Natron ein Silberkorn, so wie aus ihrer Lösung in Wasser Phosphor und viele Metalle das Silber reguliniſch fallen, während ihre Lösung mit Ammoniak klar bleibt, dagegen mit fixen Alkalien einen braunen Niederschlag von Oxyd und mit Salzsäure einen weifsen von Chlorsilber liefert. Die wichtigsten Silbersalze sind: *Salpetersaures Silberoxyd*, durch Auflösung des Silbers in Salpetersäure zu erhalten, in wässeriger Gestalt als *Silberlösung*, in krystallisirter als *Silbersalpeter*, in geschmolzener als *Höllenstein* bekannt; wirkt schwärzend und ätzend auf organische Materien und verpufft mit brennbaren Körpern. *Knallsaures Silberoxyd* oder *Howard'sches Silberoxyd*, durch Erwärmen von saurem, salpetersaurem Silberoxyd mit Weingeist vorsichtig bereitet, schiefst in weifsen Nadeln an, welche durch Reibung, besonders mit Sand, Temperaturerhöhung, elektrischen Funken oder Berührung mit Vitriolöl zum lebhaften Verpuffen gebracht werden. Das Silberoxyd mit wässerigem Ammoniak übergossen löst sich theils auf, theils bleibt es, in *Berthollet'sches Knallsilber* verwandelt, auf dem Boden liegen. Dieses Knallsilber ist wahrscheinlich festes Silberoxyd-Ammoniak, es ver-

pufft noch viel leichter und heftiger, als das Howard'sche, und darf daher nur in kleiner Menge verfertigt werden.

2) Das *Silberhyperoxyd* setzt sich als eine schwarze krystallinische Masse an den positiven Polardraht ab, wenn man wässeriges, salpetersaures Silberoxyd in den Kreis der Volta'schen Säule bringt. Es verpufft mit Phosphor oder Schwefel geschlagen und entwickelt mit Salzsäure Chlor und mit Schwefelsäure Sauerstoffgas.

Das *Chlorsilber* (108 Silber auf 36 Chlor) findet sich als Hornsilber in geschmeidigen, grauweifsen, durchscheinenden Oktaëdern und andern Gestalten des regelmäfsigen Systems, von 5,55 spec. Gewicht. Künstlich erhält man es durch Versetzen der Silberlösung mit Kochsalzlösung als einen weifsen käsigen Niederschlag, der unter der Glühhitze zu einer öligen Flüssigkeit schmilzt und beim Erkalten zu einer hornähnlichen Masse gesteht. Die Schwärzung, die das gefällte Hornsilber am Lichte erleidet, rührt nach Wetzlar von einer theilweisen Entwickelung des Chlors her. Das Chlorsilber tritt an viele Metalle das Chlor ab und löst sich in keiner Flüssigkeit, aufser in concentrirter Salzsäure und in wässerigem Ammoniak. Das *Bromsilber* zeigt ähnliche Verhältnisse, ist jedoch weniger in Ammoniak löslich. Das *Iodsilber* fällt beim Versetzen der Silberlösung mit Hydriodsäure in gelbweifsen Flocken nieder, welche nicht in Ammoniak, dagegen unter Zersetzung in concentrirter Salpetersäure und Schwefelsäure löslich sind. Das *Schwefelsilber* (108 Silber auf 16 Schwefel) findet sich als Glaserz in dunkelbleigrauen geschmeidigen Würfeln und andern regulären Gestalten und wird durch Zusammenschmelzen von Silber und Schwefel von gleichem Ansehn erhalten. Das erst gelbe, dann braune Anlaufen silberner Gegenstände an der Luft rührt von Schwefelsilber her, welches durch die meist von thierischen Ausdünstungen in der Luft verbreitete Hydrothionsäure erzeugt wird. Aus der salpetersauren Silbetlösung fällt Blausäure das *Cyansilber*, als eine weifse käsige Masse, in wässerigen, blausauren Alkalien zu Doppelsalzen löslich.

Von den Verbindungen des Silbers mit andern Metallen sind besonders die mit Kupfer, Gold und Quecksilber in Gebrauch. Die letztere, das *Silberamalgam*, welches auch natürlich in Gestalten des regelmäfsigen Krystallsystems vor-

Digitized by Google

kommt, ist leicht schmelzbar und dient zur heifsen Versilberung.

G.

Silicium.

Kiesel; *Silicium;* Silicium; *Silicium.*

Derjenige einfache Stoff, aus dessen Verbindung mit Sauerstoff die Kieselerde entsteht; nach dem Sauerstoff die auf der Erde, soweit wir sie kennen, verbreitetste Substanz. Man erhält das Silicium durch Zersetzung des Fluorsiliciums mit Kalium in der Glühhitze und Ausziehen des erzeugten Fluorkaliums mit Wasser.

Das Silicium ist ein dunkelbraunes Pulver, auch durch den Polirstahl keinen Metallglanz annehmend, nicht wohl schmelz- und verdampfbar, die Elektricität nicht leitend. Demnach scheint es kein Metall zu seyn, wenn nicht diese Abweichungen von der feinpulverigen Gestalt herrühren, in der man das Silicium bis jetzt nur darzustellen vermochte.

Die *Kieselerde*, das einzige bekannte Oxyd des Siliciums (8 Silicium auf 8 Sauerstoff), findet sich für sich als Bergkrystall, Quarz, Chalcedon, Feuerstein, Opal u. s. w., ist sehr hart und oft in doppelt 6seitigen Pyramiden und dazwischengesetzten 6seitigen Säulen krystallisirt. Die künstlich dargestellte Erde ist ein weifses, rauhes Pulver. Die Kieselerde zeigt 2,66 spec. Gew. und ist im Sauerstoffgasgebläse zu einer farblosen Glaskugel schmelzbar.

So eben aus einer andern Verbindung in feinvertheilter Gestalt abgeschieden ist sie im Wasser ziemlich löslich, scheidet sich dann beim Abdampfen desselben zuerst als ein gallertartiges Hydrat, Kieselgallerte, aus und verliert dann durch völliges Austrocknen zu Pulver ihre Löslichkeit im Wasser. In den meisten wässerigen Säuren löst sie sich nur unter denselben Umständen, wie im Wasser, z. B. wenn man ihre Verbindung mit überschüssigem Kali mit einer Säure übersättigt, und diese Auflösung verhält sich beim Abdampfen wie die wässerige; nur die Flufssäure löst auch die feste Kieselerde. Andererseits ist diese Erde mit den meisten Salzbasen verbindbar, die Stelle einer schwachen Säure vertretend, daher

sie auch *Kieselsäure* genannt wird, sowie man diese Verbindungen mit Salzbasen *kieselsaure Salze* nennt. Die Verbindungen mit überschüssigem Kali und Natron sind in Wasser löslich, alle übrigen nicht im Wasser, aber zum Theil in verdünnter Salzsäure. Sehr viele Fossilien sind als kieselsaure Salze zu betrachten, theils als einfache, wie Spinell (kieselsaure Bittererde), theils als Doppelsalze, wie Feldspath (kieselsaures Alaunerde-Kali), wozu oft noch Krystallwasser tritt, wie dieses besonders bei der Familie der Zoolithe der Fall ist.

Das *Fluor-Silicium* (18,6 Fluor auf 8 Silicium) entwickelt sich als Gas beim Zusammenbringen von Flufssäure mit Kieselerde oder Glas oder beim Erhitzen von Flufsspath mit Quarzsand und Vitriolöl. Es ist farblos, von 3,6 spec. Gewicht, saurem erstickendem Geruche, röthet Lakmus, erregt an der Luft weifsen Nebel und ist nicht brennbar. Vom Wasser wird es reichlich verschluckt und in saure flufssaure Kieselerde und in gallertartiges Kieselerdehydrat zersetzt. Es vereint sich mit vielen Fluormetallen zu einer Reihe von eigenthümlichen Doppelverbindungen. Das *Chlor-Silicium* ist eine wasserhelle Flüssigkeit, schwerer als Wasser, bei 50° siedend, sich mit Wasser in Kieselerde und Salzsäure zersetzend, die um so mehr Kieselerde gelöst behält, je mehr Wasser angewandt wird. Das *Schwefel-Silicium* ist weifs, erdig und zerfällt mit Wasser in Kieselerde und Hydrothionsäure. Man erhält Verbindungen des Siliciums mit Metallen, indem man Kieselerde mit denselben in einem Kohlentiegel einer heftigen Weifsglühhitze aussetzt.

G.

Sommer.

Aestas; Été; *Summer*.

Ist eine der vier Jahreszeiten, worin das Jahr getheilt wird, deren zwei, *Frühling* und *Herbst*, bereits am gehörigen Orte erwähnt worden sind. Zwischen diesen beiden liegt der Sommer in der Mitte und begreift also die Zeit von etwa dem 21. Juni bis zum 23. September oder vom Eintritt der Sonne in das Zeichen des Krebses bis zum Eintritt in das der Waage. Wie die Bezeichnung der Jahreszeiten überhaupt nur für die

Digitized by Google

gemäfsigten und kalten Zonen, am eigentlichsten für die mittlern Länder der erstern pafst, so ist dieses auch hinsichtlich des Sommers der Fall, und es mufs diesemnach der Sommer auf der südlichen Halbkugel dann anfangen und endigen, wenn auf der nördlichen der ihm entgegengesetzte Winter anfängt und endigt, also den 21. December und den 20. März oder vom Eintritt der Sonne in das Zeichen des Steinbocks bis zum Eintritt derselben in das Zeichen des Widders. Die Bestimmung der Jahreszeiten beruht sonach auf dem Stande der Sonne, welcher während derselben vom Wendepuncte oder dem Nachtgleichenpuncte stets zunimmt oder abnimmt, und kann daher in der äquatorischen Zone nicht auf gleiche Weise statt finden, weil die Sonne dort zweimal im Jahre den höchsten Stand erreicht.

Die bisher angegebenen Bestimmungen der Jahreszeiten, die von jeher üblichen, beruhen auf astronomischen Grundsätzen; dafs es aber in Beziehung auf die Witterungsverhältnisse nöthig sey, eine andere Abtheilung anzunehmen, ist im Art. *Meteorologie* nachgewiesen.

M.

Sommerpunct.

Punctum solstitii aestivi; Solstice d'été; *Summer-Solstice.*

Heifst derjenige Punct der Ekliptik, in welchem die Sonne bei ihrem jährlichen scheinbaren Umlaufe die gröfste Höhe erreicht. Auf der nördlichen Halbkugel tritt sie in diesen Punct ungefähr am 21. Juni, steht dem Nordpole am nächsten, hat die stärkste Abweichung und giebt den längsten Tag, womit dann der Anfang des Sommers beginnt. Dieser Punct ist nach der ältern Constellation im Zeichen des Krebses, durch die Vorrückung der Nachtgleichen aber liegt er jetzt den Zwillingen näher, ungefähr am Fufse des Kastor, und ist vom Frühlingspuncte oder dem Durchschnittspuncte der Ekliptik und des Aequators um 90 Grad oder 3 Zeichen entfernt. Dafs der Sommerpunct der nördlichen Halbkugel mit dem Winterpuncte der südlichen zusammenfällt, ist bekannt.

M.

Sonne.

Sol; Soleil; *Sun.*

Diesem, für uns wenigstens wichtigsten aller Himmelskörper verdanken wir unzählige Wohlthaten, die sie täglich über die Erde und über alle andere Körper unsers Sonnensystems ausgiefst. Dem Astronomen ist sie der Centralkörper dieses Systems und die Ursache aller Bewegungen desselben; dem Physiker ist sie die Quelle des Lichts und der Wärme, dem Oekonomen der Regulator der Jahreszeiten und aller ländlichen Arbeiten, und alle lebende Wesen, Menschen, Thiere und Pflanzen, verdanken ihr zum gröfsten Theile ihr Leben, ihre Gesundheit und beinahe alle die Genüsse des Daseyns, die uns dasselbe so angenehm und theuer machen.

Es würde diesem Orte nicht angemessen seyn, diese Wohlthaten, die uns die Sonne mit jedem Tage spendet, umständlich anzuführen. Sie sind oft genug von Rednern und Dichtern beschrieben worden und sie sind überdiefs so klar und augenfällig, dafs sie keiner nähern Beschreibung bedürfen, und wenn wir die religiösen Verirrungen der Peruaner und der Magier beklagen, die sie zum Sinnbilde der Gottheit erhoben, so müssen wir uns zugleich wundern, dafs dieser Glaube sich nicht noch viel weiter verbreitet hat und dafs er blofs in den tropischen Ländern einheimisch geblieben ist. Zwar schüttet sie über diese glücklichen Gegenden ihr reichstes Füllhorn mit verschwenderischer Hand aus, während sie die rauhen Polarländer mit Licht und Wärme nur sparsam versorgt und ihnen oft sogar Monate lang ihre Blicke gänzlich entzieht. Aber diese Sparsamkeit selbst macht ihre Spenden nur um so theurer, und wer je in diesen Gegenden gelebt hat, wird wissen, mit welcher Sehnsucht man, nach dem langen, starren Winterschlafe, ihren ersten Strahlen entgegensieht und wie kläglich nur zu oft diese Freude durch die wilden Schneegestöber des sogenannten Wonne-Monats vereitelt wird, so dafs man sich in der That verwundern mufs, in den beiden Polargegenden unserer Erde auch nicht eine Spur von Feuerdienst oder Sabäismus zu finden.

So allgemein bekannt aber auch die Wohlthaten der Sonne seyn mögen, so giebt es doch einige, die gewöhnlich nicht

Digitized by Google

beachtet zu werden pflegen, obgleich sie diese Beachtung in einem sehr hohen Grade verdienen. Es wird erlaubt seyn, hier der Kürze wegen nur eine derselben näher anzuführen.

Die Sonne, heifst es, ist die Quelle des *Lichts*, und gewifs niemand von uns wird die Köstlichkeit dieses Geschenkes in Abrede stellen wollen. Allein mit dem Lichte hat sie uns zugleich die *Farben* geschenkt und die Wichtigkeit dieses Zusatzes wird wohl nur selten nach seinem ganzen Werthe gewürdigt. Wenn das Sonnenlicht nicht aus farbigen Strahlen[1], sondern blofs aus weifsem Lichte bestände, welche Folgen würde eine solche Einrichtung gehabt haben?

Bei einem weifsen Sonnenlichte würde die ganze grofse Natur *farbenlos* vor unserem Blicke liegen. Keine Morgenröthe würde uns mehr aus unserem Schlummer wecken und keine Blüthe der jugendlichen Wange, diese Morgenröthe des Lebens, würde unser Auge mehr entzücken; das menschliche Antlitz und die ganze Natur würde unsern einfarbigen Zeichnungen mit Tusche, unseren grauen Kupferstichen gleichen. Der Regenbogen mit seinem Farbenschmelze würde ein Streifen weifsgrauen Lichts seyn, die Sterne würden als weifse Puncte am aschfarbenen Himmel schimmern, eine einfarbige graue Decke würde sich über der ganzen Erde ausbreiten und selbst der schönste Mittag würde uns nur in dem trüben Gewande unserer düstern Wintertage erscheinen. Die gütige Natur, die schon in die Gestalten der Körper, welche sie gebildet hat, so viel Schönheit legte, hat sie auch noch mit jenem ätherischen Farbenschmucke bekleidet, die sie aus den Lichtstrahlen der Sonne flocht und mit dem sie dem edelsten unserer Sinne zahllose Genüsse bereitet hat. Ohne dieses Geschenk würden wir das jugendliche Grün der Blätter und den Teppich unserer Wiesen im Frühlinge entbehren müssen, da wir Hain und Flur nur mit der Farbe des welken Gelbs im Herbste überzogen sehen könnten. Ohne dieses Geschenk könnte der Diamant wohl noch seinen Glanz und seine Härte haben, aber er würde, seines lebhaften Farbenspiels beraubt, nicht mehr in dem Diadem des Fürsten, nicht mehr in dem Kranze der Schönheit glänzen. Ohne dieses köstliche Geschenk endlich würde das menschliche Antlitz wohl noch im-

1 S. Art. *Farbe*. Bd. IV. S. 43.

mer jenes feine Gewebe, jener unwillkürliche Verräther unserer innersten Gefühle seyn, aber nicht mehr würde das Rosenlicht der Liebe, nicht mehr die Purpurröthe der heiligen Scham auf diesem Boden blühn, und selbst jene kranke, fliegende Röthe des Sterbenden würde nicht mehr der Vorbote der oft willkommenen Befreiung von dem Schmerzenlager seyn.

Auf gleiche Weise, dünkt mich, stellt man unter den Wohlthaten, die wir der Sonne verdanken, mit Unrecht das Licht der Wärme voran. Denn so grofs und wichtig auch das Geschenk des *Sonnenlichts* für uns seyn mag, das der *Wärme*, welches wir gröfstentheils wenigstens ebenfalls der Sonne verdanken, scheint mir jenem noch weit vorzuziehn zu seyn. Aus dieser zweiten Quelle fliefst eine unabsehbare Fülle von Wohlthaten, die nicht blofs, wie jene, unser Leben verschönern und die Genüsse desselben erhöhn, sondern die unser ganzes Daseyn eigentlich erst möglich machen, da ohne sie die Existenz aller organischen Wesen ganz unmöglich seyn würde. In der That, die meisten dieser Wesen können, wenigstens einige Zeit lang, ohne Licht leben, auch gehn unzählige Operationen der Natur ganz ebenso gut im Lichte, als im Dunkeln, vor sich und die eigentliche Zeit des Ersatzes aller bei Tage verlornen Kräfte ist, bei Thier und Pflanze, die lichtlose Nacht. Auch hindert der Mangel des Lichts, wo er z. B. in Krankheiten als Erblindung eintritt, die übrigen thierischen Functionen des Körpers nicht an ihrer Thätigkeit und selbst die geistige Kraft des Menschen wird dadurch zuweilen sogar erhöht, wie wir bereits mehrere glänzende Beispiele von blinden Dichtern (Homer, Milton) und selbst von blinden Geometern (Saunderson, Euler u. a.) anführen können, bei welchen der Verlust ihres Augenlichtes die Kraft ihres Verstandes oder ihrer Einbildungskraft noch zu erhöhn schien.

Man könnte daher, in dieser Beziehung, das Licht nur gleichsam einen Gegenstand des Luxus der Natur nennen, da dasselbe für so viele Dinge und selbst auf längere Zeit entbehrlich ist. Aus diesen Gründen spendet daher auch die Natur dieses Geschenk nicht mit jener unbegrenzten Freigebigkeit, wie sie diefs wohl mit der Wärme gethan hat, sondern sie scheint dabei jene zurückhaltende Oekonomie zu

Digitized by Google

beobachten, die sie sich bei allen denjenigen Gaben vorzuschreiben pflegt, welche blofs das Vergnügen, aber nicht die Erhaltung ihrer Geschöpfe zum Zwecke haben.

Die *Wärme* aber hat sie überall und für alle mit der freigebigsten, beinahe mit verschwenderischer Hand ausgetheilt. Die Wärme findet sich an allen Orten und zu allen Zeiten, wo sich nur immer Wesen finden, die derselben bedürfen. Jeder Körper, selbst der unorganische, selbst die tropfbaren und luftförmigen Körper enthalten sie im reichlichen Mafse. Was wir auf der Erde sehen, was wir auf ihr durch irgend einen unserer Sinne erkennen, ist damit angefüllt und ihrem Einflusse allein ist die so bewunderungswürdige Verschiedenheit der Gestalten zuzuschreiben, die wir an diesen Körpern erblicken. Unser Festland, unsere Flüsse und Meere, unsere Atmosphäre selbst könnten nicht einen Augenblick so bleiben, wie sie sind, wenn ihnen die Wärme plötzlich entzogen würde, und alles müfste, ohne sie, in eine rohe, starre, formlose Masse zusammenfallen. Die uns umgebende Luft müfste, sobald ihr die Wärme entzogen wird, in eine die Erde ringsum einschliefsende Eisrinde verwandelt werden, die allem Leben auf der Erde selbst ein schnelles Ende bereiten würde. Die Wärme ist die Mutter zugleich und die Amme aller organischen Wesen und selbst die unorganischen entspringen alle aus ihrem Schoofse. Jeder Körper der Natur, wie grob auch seine Masse oder wie fein das Gewebe seyn mag, aus dem er besteht, verdankt seine Entstehung und seine Fortdauer in dieser Gestalt blofs der wohlthätigen Wärme, die ihn in allen seinen Theilen durchdringt. Nehmt sie weg aus der Natur und sofort verschwindet alle Bewegung, alle Formgebung, alles Leben, und das alte Chaos tritt wieder in seine Rechte ein.

Auch unsere Künste und Manufacturen können die Wärme so wenig, als die Natur selbst, entbehren. Welche Veränderungen wir auch mit den Körpern vornehmen mögen, sie bestehn alle in der Trennung oder in einer andern Zusammenfügung ihrer Theile und in einer unsern Zwecken gemäfsen Umwandlung ihrer Gestalt. In allen diesen Operationen ist aber die Wärme das wichsigste, oft das einzige Instrument, mit welchem wir jene Absichten erreichen. Durch dieses Agens erweichen wir die härtesten Körper, machen Gold wie Wasser

und Eisen wie Wachs fliefsen und verändern so die uns von der Natur in ganz andern Verhältnissen dargebotnen Körper, um sie unsern Bedürfnissen, unsern Vergnügungen und oft selbst nur unsern Einfällen dienen zu machen.

Und nicht blofs in unsern technischen, auch in unsern wissenschaftlichen Arbeiten spielt die Wärme eine grofse, wichtige Rolle. Wer in einer hellen Nacht den gestirnten Himmel betrachtet, glaubt schon alles gesehn zu haben, wenn er die Gröfse und die gegenseitige Lage dieser Gestirne gesehn hat. Der Astronom aber weifs, dafs er keines derselben an seinem wahren Orte sieht und dafs diese optischen Täuschungen mit jedem Augenblicke wechseln, und dafs die Ursache davon in der ebenfalls wechselnden Temperatur der die Erde umgebenden Atmosphäre liegt. Selbst sein Instrument, mit welchem er den Himmel und seine Veränderungen betrachtet, ist ähnlichen Wechseln der Temperatur unterworfen, und ein einziger Sonnenstrahl, der auf seinen Kreis fällt, ein einziger Hauch, ja die den Beobachter selbst umgebende Atmosphäre seines eignen Körpers ist schon hinreichend, den metallenen Bogen seines Kreises zu verziehen und Aenderungen hervorzubringen, die man lange genug am Himmel gesucht hat, während sie ihre wahre Ursache in dem Instrumente oder in dem Beobachter selbst hatten. Unsere solidesten Gebäude werden täglich, ja stündlich von der Wärme in stete Bewegung gesetzt, und jede Thüre, jedes Haus geht, wenn es abwechselnd auf seiner östlichen und westlichen Seite von der Sonne beschienen wird, gleich einem Pendel hin und wieder, ohne auch nur einen Augenblick dieselbe Lage beizubehalten.

Aber welche noch viel wichtigere Rolle ist der Wärme in unserer Chemie angewiesen. Unauflöslich scheinende Körper trennt sie in ihre Elemente; die heterogensten Massen schmelzt sie zu einem gemeinsamen Körper; seit Jahrhunderten schlafende Affinitäten weckt sie aus ihrem Schlummer zu neuer Thätigkeit und sie zerreifst selbst die Bande der chemischen Attraction, die doch jeder andern uns bekannten Kraft spottend widerstehn. Durch Bindung und Freiwerden der Wärme entstehn alle unsere Zusammensetzungen und Trennungen der natürlichen Körper, und diese zwei Processe sind es, durch die wir mit der einen Hand fürchterliche Detona-

Digitized by Google

tionen und eine alles schnell verzehrende Hitze und mit der andern eine Kälte erzeugen, gegen welche die unserer Pole noch Wärme genannt werden darf.

Auch ist es nicht nöthig, Sternwarten und Laboratorien aufzusuchen, um Beispiele für die Thätigkeit einer Kraft zu finden, die uns überall und von allen Seiten in der Nähe umgiebt. Im Schlafe und im Wachen, zu Hause und auf dem Felde, bei Tag und Nacht, in der heifsen und in der kalten Zone, über und unter der Erde, überall ist sie, überall wirkt sie und überall sind wir ihre Meister zugleich und ihre Sclaven.

Wir sind ihre Sclaven. — Denn ohne sie vermögen wir nicht einen Augenblick zu leben und ohne ein genau bestimmtes Mafs derselben wird uns das Leben zur unerträglichen Last. Sie herrscht gebieterisch über unsere Freuden und Leiden. Sie legt uns auf das Krankenbette hin und hilft uns von demselben wieder auf. In der brennenden Hitze des Sommers lechzen wir unter ihrem Drucke und in der starren Kälte des Winters schauern wir unter ihrem Mangel. Wenn sie sich in unserm eignen Organismus anhäuft, so vertrocknet die Zunge und wir brennen im Fieber, und wenn sie uns wieder zu schnell verläfst, so ächzen wir unter Erkältungen und Rheumatismen und unter allen den zahllosen Leiden, welche im Gefolge dieser beiden Anführer eines ganzen Heeres von Krankheiten aufzutreten pflegen.

Wir sind aber auch ihre Meister. — Denn wir zwingen sie, unserm Willen zu gehorchen und, selbst gegen ihre Absicht, unsere Zwecke zu befördern. Mitten unter den Schneebergen der Pole mufs sie mit uns friedlich in demselben Raume wohnen und selbst aufser demselben darf sie, in undurchdringliche Kleider eingeschlossen, uns nicht verlassen. Ebenso entfernen wir sie aus dem Wasser, um uns während der heifsen Jahreszeit mit Eis zu kühlen, und wir bringen sie wieder im gröfsern Mafsstabe in das Eis zurück, um im Winter, durch in Röhren geleitetes heifses Wasser unsere Wohnungen zu erwärmen. Auf unsern Reisen zur See giebt sie unsern Dampfschiffen neue und mächtige Flügel und auf unsern Landfahrten spannen wir sie, statt der Pferde, vor unsere Dampfwagen und eilen damit dem schnellsten Vogel, ja selbst den Stürmen zuvor.

Wenn wir schlafen, so sind Zimmer und Betten mit den Mitteln versehn, die Wärme in ihrem gehörigen Grade zu erhalten. Wenn wir zu Tische sitzen, so ist wieder sie es, die unsern Speisen Genieſsbarkeit giebt. Sie bereitet unsere Gerichte in der Küche, wie sie die Früchte unserer Felder und Gärten kocht und zur Reife bringt. Die erquickenden Säfte des Theebaums, der Kaffeestaude oder der Cacaobohne würden uns immer verschlossen und unbekannt geblieben seyn, wenn sie uns die Wärme nicht aufgeschlossen hätte, und selbst die Bereitung unserer künstlichen Getränke würde uns noch ein Geheimniſs seyn, wenn wir, gleich dem blödsichtigen Feuerländer, mit der Erhaltung und Anwendung der Wärme noch unbekannt wären. Selbst das *Licht*, jene ohne Zweifel sehr köstliche Gabe des Himmels, wie oft würden wir uns vergebens darnach sehnen, wenn dieselbe gütige Hand, die uns dasselbe gegeben, jenes andere, noch köstlichere Geschenk uns zurückgehalten hätte. Wenn die Sonne ihr erfreuliches Antlitz von uns wendet und die Erde in Finsterniſs einhüllt, wenn sie, wie in den Polargegenden, volle sechs Monate unsichtbar bleibt, dann ist es wieder die *Wärme*, die unsere Luft in Flammen setzt; dann zünden wir, mit ihrer Hülfe, unsere Kerzen und Lampen an und schaffen uns künstliche Tage mitten in der tiefsten Nacht; dann lassen wir *unsere* kleine Sonne leuchten zu unserm Geschäfte, zu unsern geselligen Unterhaltungen, und vermehren so die Genüsse, ja die eigentliche Länge unsers Lebens durch nützlich oder angenehm verbrachte Stunden, die wir, ohne jenes Geschenk, in dumpfer Unthätigkeit verloren oder im längern Schlafe verträumt hätten.

Nach dieser Digression über die zwei vorzüglichsten Wohlthaten der Sonne, die nicht immer nach ihrem vollen Werthe gewürdigt zu werden pflegen, gehn wir nun zu demjenigen über, was uns von diesem Himmelskörper selbst durch unsere bisherigen Beobachtungen bekannt geworden ist.

A. Scheinbarer Halbmesser der Sonne.

Der Winkel, unter welchem wir von der Erde den Halbmesser der Sonne sehen, d. h. der scheinbare Halbmesser derselben, konnte vor der Erfindung der Fernröhre nicht mit Genauigkeit gefunden werden. Es macht daher den Alten

Digitized by Google

Ehre, dafs sie ihn doch der Wahrheit so nahe angegeben haben. Nicht so glücklich waren sie mit den Halbmessern der Planeten, die doch bei dem weniger blendenden Lichte derselben viel leichter zu messen waren. Für den Halbmesser der Venus in deren kleinster Entfernung von der Erde fand noch Tycho den Winkel von 370 Secunden; Keppler in seinen Rudolphinischen Tafeln setzte ihn auf 205″, also nahe auf die Hälfte von jener Bestimmung herab; allein auch dieses ist noch viel zu grofs, da die Neuern ihn nur = 29″, also 13mal kleiner als Tycho, gefunden haben. Aristarch und Archimedes nahmen den Halbmesser der Sonne gleich 900″ an; Ptolemäus setzt ihn in seinem Almagest gleich 940″, und er kannte noch nicht die Veränderungen, welche dieser Durchmesser im Sommer und Winter erleidet, obschon diese Differenz 32″, also eine halbe Minute, beträgt. Copernicus scheint diesen Unterschied schon gekannt zu haben, da er für den gröfsten und kleinsten Werth des Sonnenhalbmessers 1014″ und 954″ angiebt. Keppler[1] glaubte seiner Sache sehr gewifs zu seyn, indem er dafür 930″ und 900″ annahm. Scheiner stellte darüber im J. 1625 umständliche Untersuchungen an, indem er die Sonnenstrahlen durch eine sehr enge Oeffnung in ein verfinstertes Zimmer treten liefs und das Bild der Sonne auf einer der Oeffnung gegenüber stehenden Tafel mafs. Allein er fand auf diese Weise den Halbmesser der Sonne viel zu grofs, oft bis auf 1600″, wovon die Ursache in der Beugung (*Inflexion*) des Sonnenlichts an dem Rande der Oeffnung lag, die später von Grimaldi und von Newton entdeckt wurde. Riccioli bemerkte zuerst, dafs man zu diesem Zweck die Oeffnung gröfser nehmen und dann den Halbmesser der Oeffnung von dem Halbmesser des Sonnenbildes subtrahiren müsse, um den wahren Werth des Sonnenhalbmessers zu erhalten. Auf diese Art fand er durch den berühmten Gnomon des h. Petronius die beiden äufsersten Werthe dieses Halbmessers 930″ und 962″, nahe ebenso, wie sie auch zu derselben Zeit D. Cassini gefunden hatte.

Erst seit der Entdeckung oder vielmehr seit der Anwendung der mit Mikrometern[2] versehenen Fernröhre hat man

1 Astron. pars optica. p. 343.
2 S. Art. *Mikrometer*. Bd. VI. Abth. 2.

den wahren Werth dieser Gröfse näher und mit Sicherheit kennen gelernt. So fand den kleinsten Werth desselben, wie er im Anfange des Julius erscheint,

Flamstead	950″
Halley und Picard	949,0
Lacaille	947,0
Mouton	946,0
Lalande	945,2
Short	944,0
Maskelyne	944,6.

Da diese Bestimmung für die ganze Astronomie sehr wichtig ist, indem davon unsere Kenntnifs der wahren Gröfse der Sonne abhängt und indem man diese Durchmesser gewöhnlich zur Bestimmung der Werthe eines Umgangs der Schraubenmikrometer gebraucht, so bemühte man sich, den wahren Werth dieser Gröfse mit der äufsersten Schärfe zu erhalten. Lalande's obige Bestimmung gründete sich auf zahlreiche Beobachtungen, die er mit einem grofsen Heliometer von 18 Fufs Brennweite angestellt hatte. Später nahm Short in England dieselbe Untersuchung mit einem ebenfalls ausgezeichneten Objectivmikrometer wieder vor und fand, wie die vorhergehende Tafel zeigt, 1″,2 weniger als Lalande. Es ist aber sehr schwer, den wahren Halbmesser der Sonne bis auf eine halbe Secunde genau zu erhalten, vorzüglich weil die meisten Fernröhre das Bild der Sonne im Brennpuncte des Instruments auf verschiedene Weise zu grofs anzugeben scheinen. Bei Fernröhren von mittlerem Werthe kann diese Differenz bis auf 3″ gehn. Man hat gesucht, diese Halbmesser aus den Beobachtungen den Sonnenfinsternisse zu bestimmen, allein man hat nicht die so wünschenswerthe Uebereinstimmung zwischen dieser und jener Beobachtungsart gefunden und noch herrscht die vielleicht unverbürgte Annahme unter den Astronomen, dafs man bei den Sonnenfinsternissen den Halbmesser der Sonne um nahe 3″ kleiner annehmen müsse, als aufser denselben.

In den neuesten Zeiten wurde diese Untersuchung von verschiedenen Astronomen mit mehr oder weniger Genauigkeit vorgenommen. Piazzi fand für den Sonnenhalbmesser in der mittlern Distanz 961″,23, v. Zach 960″,15, Littrow 960″,99 und Duenot 960″,15. Delambre berechnete mehrere Jahre

Digitized by Google

der Maskelyne'schen Beobachtungen am Mittagsrohr und Mauerquadranten und fand daraus den verticalen Halbmesser der Sonne in der mittlern Entfernung 964″,038 und den horizontalen 960″,645, also den letzten um 3″,393 kleiner als den ersten. Bringt man an dem verticalen Halbmesser noch die Correction der Refraction, die 0″,250 beträgt, an, so ist diese Differenz doch noch 3″,143. Etwas Aehnliches fand auch v. Lindenau aus 33jährigen Beobachtungen der Astronomen in Greenwich. Wir werden davon am Ende dieses Absatzes sprechen. Diese Differenz zwischen dem horizontalen und verticalen Durchmesser der Sonne wurde auch von andern Astronomen, Herschel, Wurm, Piazzi u. s. w. bemerkt und im Mittel folgt daraus eine Abplattung der Sonne in der Richtung des horizontalen Durchmessers von $\frac{1}{280}$. Im Allgemeinen sind wir über die wahre Gröfse dieses Elements noch wenigstens um 1″,5 ungewifs.

Nach den neuesten Sonnentafeln von Carlini, mit Rücksicht auf die Verbesserungen, die Bessel an diesen Tafeln angebracht hat, beträgt der Halbmesser der Sonne in der mittleren Entfernung derselben von der Erde 960″,9 oder 0° 16′ 0″,9. Nennt man aber r den Radius Vector der Sonne für jede andere Zeit in Theilen dieser mittleren Entfernung oder in Theilen der halben grofsen Axe der Erdbahn ausgedrückt, so findet man den wahren Halbmesser w aus dem mittleren m durch den Ausdruck

$$\text{Sin. } w = \frac{1}{r} \text{ Sin. } m \text{ oder einfacher } w = \frac{m}{r},$$

wo $m = 960″,9$ ist. Bezeichnet m die mittlere Anomalie der Erde vom Perihelium genommen und ε die Excentricität ihrer elliptischen Bahn, so hat man

$$r = 1 - \varepsilon . \text{ Cos. } m - \frac{\varepsilon^2}{2} (\text{Cos. } 2\,m - 1).$$

Da aber $\varepsilon = 0{,}016793$ ist, so ist auch der gröfste Halbmesser der Sonne gleich $\frac{m}{1-\varepsilon} = 977″,31$ und der kleinste $\frac{m}{1+\varepsilon} = 945″,03$. Jener hat gegen Ende des Decembers, dieser aber im Anfang des Julius statt. Der mittlere Halbmesser

Digitized by Google

endlich von 960″,9 wird im Anfang Aprils und im Anfang Octobers beobachtet.

Die Alten nahmen bekanntlich an, dafs die Sonne um die Erde oder, was hier dasselbe ist, dafs die Erde um die Sonne in einem *Kreise* sich bewege. Da sie aber sehr bald bemerkten, dafs die tägliche Bewegung der Erde um die Sonne ungleich ist, so stellten sie die Hypothese auf, dafs die Sonne nicht in dem Mittelpuncte jenes Kreises, sondern irgendwo aufser demselben sich befinde. Sind aber $d\nu$ und $d\nu'$ die täglichen Bewegungen der Erde für zwei Puncte ihrer Bahn, für welche die scheinbaren Halbmesser der Sonne R und R′ gehören, so findet man unter der Voraussetzung der Kreishypothese der Alten

$$\frac{d\nu}{d\nu'} = \frac{R}{R'}.$$

Die tägliche Bewegung der Sonne oder der Erde beträgt aber, den Beobachtungen zufolge, in der mittlern Entfernung dieser beiden Himmelskörper 3553″,0, in der kleinsten 3672″,4 $= d\nu$, in der gröfsten Entfernung endlich 3433″,7 $= d\nu'$. Für diese beiden letztern Fälle ist aber, nach dem Vorhergehenden, der scheinbare Halbmesser der Sonne R = 977″,31 und R′ = 945″,03. Man hat daher $\frac{d\nu}{d\nu'} = 1{,}0695$ und $\frac{R}{R'} = 1{,}03416$, welche beide Gröfsen einander nicht gleich sind, zum Beweise, dafs die Kreishypothese der Alten nicht richtig seyn kann, und dafs jene Veränderung der täglichen Geschwindigkeit der Sonne nicht blofs optisch ist und nicht von einer verschiedenen Entfernung der sich übrigens im Kreise gleichförmig bewegenden Sonne kommen kann, sondern dafs sie ihre Ursache in einer wirklichen Veränderung dieser Geschwindigkeit haben müsse. Legt man aber dieser Bewegung der Sonne das bekannte Gesetz Kepler's zu Grunde, nach welchem dieselbe in einer Ellipse und zwar so fortgeht, dafs die von dem Radius Vector derselben beschriebenen Flächen den Zeiten proportional sind, so findet man unter dieser Hypothese

$$\frac{d\nu}{d\nu'} = \frac{R^2}{R'^2}.$$

Es war aber $\frac{d\nu}{d\nu'} = 1{,}0695$ und $\frac{R}{R'} = 1{,}03416$, also ist

Digitized by Google

auch $\frac{R^2}{R'^2} = 1{,}0695$, ganz übereinstimmend mit der vorhergehenden Gleichung. Zwar kannten die Alten, wie bereits oben gesagt wurde, die Veränderungen noch nicht, welche der Sonnenhalbmesser in den verschiedenen Jahreszeiten erleidet, und da sie nur auf 32″ gehen, so mufste es ihnen schwer werden, mit ihren Instrumenten eine so kleine Gröfse zu bestimmen. Allein bei dem Monde, den sie, wie alle Planeten, ebenfalls in einem Kreise fortgehn liefsen, sind diese Veränderungen bereits so grofs, dafs sie dieselben wohl hätten bemerken können. Der kleinste und gröfste Halbmesser des Mondes ist nämlich $R' = 880'',98$ und $R = 1005'',54$ und die kleinste und gröfste tägliche Bewegung desselben um die Erde ist $d\nu' = 1766'',82$ und $d\nu = 2301'',96$. Man hat daher

$$\frac{d\nu}{d\nu'} = 1{,}3028 \text{ und } \frac{R}{R'} = 1{,}1414,$$

welche beide Gröfsen bereits sehr namhaft von einander verschieden sind, während im Gegentheile der Werth von $\frac{R^2}{R'^2} = 1{,}3027$ dem von $\frac{d\nu}{d\nu'}$ beinahe völlig gleich ist. Wenn den Griechen der Alexandrinischen Schule diese Bemerkung, die sie so leicht hätten anstellen können, nicht entgangen wäre, so würden sie die Hypothese ihrer kreisförmigen Bewegung und ihrer künstlichen Epicykel als unstatthaft verworfen haben, und sie würden vielleicht die Entdecker der Keppler'schen Gesetze geworden seyn, die durch jene Hypothese, die sich unglücklicher Weise einen allgemeinen Eingang verschafft hatte, beinahe zwei Jahrtausende lang aufgehalten worden ist.

Uebrigens giebt diese Verschiedenheit der scheinbaren Halbmesser der Sonne ein einfaches Mittel, die wahre Gröfse der Excentricität ihrer Bahn oder vielmehr die Distanz der Sonne von dem Mittelpuncte der Erdbahn zu bestimmen, diese Bahn mag ein Kreis oder eine Ellipse seyn. Denn ist PMA die Bahn der Erde und C der Mittelpunct derselben, so wie S der Ort der Sonne, so ist P und A der Punct der Bahn, wo die Entfernung der Erde von der Sonne die kleinste und gröfste, wo also auch der scheinbare Halbmesser der Sonne der gröfste und kleinste ist. Nennt man daher z den wahren Halbmesser der Sonne, z. B. in Meilen ausgedrückt, so hat man Fig. 328.

$$\frac{z}{PS} = \text{Sin. } 977'',31 \text{ und } \frac{z}{AS} = \text{Sin. } 945'',03,$$

woraus folgt $\frac{PS}{AS} = \frac{\text{Sin. } 945'',03}{\text{Sin. } 977'',31} = 0,96699.$

Es ist aber $PS = CP - CS$ und $AS = CP + CS$, also ist auch

$$\frac{CP - CS}{CP + CS} = 0,96699 \text{ und daraus folgt}$$

$$\frac{CS}{CP} = \frac{0,03301}{1,96699} = 0,016782$$

für die gesuchte Excentricität CS der Erdbahn, in Theilen der halben grofsen Axe CP oder CA ausgedrückt, übereinstimmend mit dem Vorhergehenden.

Wenn man die oben gegebenen Halbmesser der Sonne von Flamstead bis Maskelyne, d. h. seit dem Laufe eines vollen Jahrhunderts, unter einander vergleicht, so scheint es, als ob dieser Halbmesser in einer stetigen Abnahme begriffen wäre. Auf dasselbe Resultat wurde auch v. Lindenau bei seinen bereits oben erwähnten Untersuchungen dieses Gegenstandes geführt. Er berechnete mehr als 4000 der in Greenwich angestellten Beobachtungen und fand daraus diesen Halbmesser

in den Jahren 1765 bis 76 ... 961″,66
1776 bis 87 ... 960,22
1787 bis 98 ... 959,77,

also selbst in 33 Jahren schon eine merkliche Abnahme von 1″,89. Die Astronomen sind mit v. Lindenau nicht geneigt, diese Abnahme, von der wir weiter unten sprechen werden, für reell zu halten, und der Letztere sucht ihre Ursache in einer Abstumpfung des Auges der Astronomen durch mehrjährige Beobachtungen. Auffallender noch ist die Differenz, die v. Lindenau aus diesen 33jährigen Beobachtungen zwischen dem Aequatorial- und Polarhalbmesser der Sonne fand, von denen er erstern zu 960″,55 und letztern zu 962″,91, jeden im Mittel aus mehr als 2000 Beobachtungen, angiebt. Demnach wäre der Aequatorialdurchmesser der Sonne um volle 4″,72 kleiner, als der Polardurchmesser, oder die Sonne hätte, und zwar in der Richtung ihres Aequators, eine starke Abplattung. Eine so auffallende Gestalt des Sonnenkörpers ist aber allen bekannten Naturgesetzen, nach welchen die Abplattung an den Polen, nicht am Aequator, statt haben mufs,

Digitized

so sehr entgegen, dafs man wohl vorerst irgend eine Täuschung als den Grund dieser sonderbaren Erscheinung vermuthen mufs. Delambre sucht diese Ursache in der bei den Zenithdistanzen-Beobachtungen vernachlässigten Dicke des horizontalen Fadens im Brennpuncte des Fernrohrs, allein v. Lindenau[1] sucht zu zeigen, dafs diese Erklärung unwahrscheinlich und ungenügend ist.

Noch räthselhafter endlich ist die regelmäfsige periodische Aenderung, die v. Lindenau durch dieselbe Discussion jener zahlreichen, in Greenwich angestellten, Sonnenbeobachtungen gefunden hat. Nach denselben fallen die gröfsten Halbmesser der Sonne gegen das Ende des März und des Septembers und die kleinsten gegen das Ende des Junius und des Decembers und der Unterschied zwischen ihnen beträgt 1″,35. Ueber die Ursache dieser periodischen Aenderungen, wenn sie in der That existiren, sind wir noch gänzlich ungewifs.

B. Entfernung der Sonne von der Erde.

Nach den neuesten Bestimmungen beträgt die Entfernung des Mittelpuncts der Sonne von dem der Erde zu der Zeit, wo sie in der Mitte zwischen der gröfsten und kleinsten Distanz ist oder wo sie um die halbe grofse Axe der Erdbahn von der Erde absteht, 12022,9 Durchmesser des Erdäquators, oder, was dasselbe ist, der Halbmesser des Erdäquators erscheint, aus dem Mittelpuncte der Sonne zur Zeit ihrer mittlern Entfernung gesehn, unter dem Winkel von 8,578 Secunden. Dieser Winkel heifst die mittlere Aequatorial-Horizontal-Parallaxe der Sonne. Nennt man ihn π und heifst a die mittlere Entfernung der Mittelpuncte der Sonne und der Erde, so hängen diese beiden Gröfsen a und π durch folgende Gleichung von einander ab:

$$a = \frac{1}{\text{Sin.}\,\pi},$$

so dafs man also eine dieser beiden Gröfsen erhält, wenn die andere gegeben ist. Dabei ist der Halbmesser des Erdäquators als Einheit der Entfernungen vorausgesetzt. Nennt man aber diesen Halbmesser r, so wird die vorhergehende Gleichung

$$a = \frac{r}{\text{Sin.}\,\pi}.$$

---

1 Mon. Corresp. Bd. XXII. S. 197.

Setzt man $\pi = 8'',578$ und $r = 1$, so findet man $a = 12022{,}9$ Erddurchmesser, wie zuvor. Nimmt man aber den Halbmesser der Erde nach den neuesten Bestimmungen zu 859,3 geogr. Meilen an, deren 15 auf einen Grad des Aequators gehn, so dafs jede Meile 22841,8 par. Fufs enthält, so ist $r = 859{,}3$ und damit gibt die zweite Gleichung

$$a = \frac{r}{\text{Sin. } \pi} = 20662548 \text{ geogr. Meilen.}$$

Dieses vorausgesetzt wollen wir nun sehn, wie man zu der Kenntnifs dieser Gröfse a oder π gekommen ist, von denen, wie gesagt, nur eine nothwendig ist, da die andere aus ihr durch die vorhergehende Gleichung gefunden wird.

Die Meinungen der Alten über die Entfernung der Sonne haben Plutarch[1] und Plinius[2] gesammelt. Sie sind ohne wissenschaftlichen Werth, da sie nur auf philosophischen Vermuthungen beruhn. So schlofs Pythagoras aus seinen harmonischen Verhältnissen, dafs die Sonne dreimal weiter von uns entfernt sey, als der Mond, da sie doch 400mal weiter absteht. Aristarch von Samos suchte (gegen 264 vor Ch. G.) die Distanz der Sonne zuerst zu messen und fand ihre Parallaxe gleich 3 Minuten, also ihre Entfernung gleich 1146 Halbmessern der Erde, also noch immer 20mal zu klein. Zwei Jahrhunderte später fand Posidonius diese Distanz gleich 13148 Erdhalbmessern, also nur um die Hälfte zu klein, was für jene Zeit als ein erlaubter Fehler angesehen werden kann. Aristarch war scharfsinnig genug, zu bemerken, dafs der Halbmesser der Erde eine zu kleine Basis ist, um darauf die Messung der Entfernung der Sonne zu gründen, oder mit andern Worten, dafs er mit seinen unvollkommnen Instrumenten den zu kleinen Winkel π nicht mehr mit Zuverlässigkeit messen könne. Er suchte daher eine gröfsere Standlinie und fand sie in dem Halbmesser der Mondbahn. In dem Augenblicke, wo der Mond in seinen Vierteln steht, was man daran erkennt, dafs die Grenze seiner Lichtphase als eine gerade Linie erscheint, in diesem Augenblicke ist in dem geradlinigen Dreiecke zwischen Sonne, Mond und Erde der Winkel an dem Monde gleich 90°. Nennt man also A den Winkel, welchen

1 De placitis Philos. Lib. III.

2 Histor. Nat. Lib. II.

Digitized by Google

in diesem Augenblicke die Sonne mit dem Monde in unserm Auge bildet, einen Winkel, den man mit aller Schärfe beobachten kann, so hat man

$$\text{Sin. Parallaxe } \odot = \text{Sin. Parallaxe } \mathbb{C} \cdot \text{Cosinus A}$$

oder, was dasselbe ist,

$$\frac{\text{Distanz } \odot\mathbb{C}}{\text{Distanz } \mathbb{C}\,\delta} = \frac{1}{\text{Cos. A}}.$$

Auf diese Weise würde man also die Distanz der Sonne in Theilen der Distanz des Mondes von der Erde erhalten, und da diese letzte Distanz viel leichter zu finden ist, als die erste, so würde diese Methode ein gutes Mittel geben, jene erste Distanz zu bestimmen. Allein es ist, selbst mit unsern besten Fernröhren, sehr schwer, jenen Augenblick genau anzugeben, wo die sonst elliptische Lichtgrenze des Mondes genau eine gerade Linie ist, und da auf dieser Angabe die Sicherheit des ganzen Verfahrens beruht, so hat es, obschon es in der Theorie richtig ist, keine praktische Brauchbarkeit, obschon es von Keppler im J. 1619 dem Galilei auf das dringendste empfohlen wurde. Doch hatte Vendelin durch seine Beobachtungen auf der Insel Majorca im Jahre 1650 die Sonnenparallaxe gleich 15″ gefunden, aber wohl nur zufällig.

Ptolemäus bediente sich zu dieser Absicht einer andern, von dem berühmten Hipparch vorgeschlagenen Methode. Bei den Mondfinsternissen tritt bekanntlich dieser Satellit in den Schattenkegel, welchen die Erde auf der von der Sonne abgewendeten Seite hinter sich wirft. Schneidet man diesen Kegel durch eine Ebene, welche durch den Mittelpunct des Monds zur Zeit seiner gröfsten Verfinsterung geht und senkrecht auf der Axe dieses Kegels steht, so ist der von der Erde gesehene Halbmesser des kreisförmigen Schnitts des Schattenkegels mit dieser Ebene, wie man leicht zeigen kann, gleich der Summe der Parallaxen der Sonne und des Monds, weniger den scheinbaren Halbmesser der Sonne. Kennt man also die beiden letztern Gröfsen, so erhält man, da man den Halbmesser jenes Kreisschnittes aus der Dauer der Finsternifs durch Rechnung ableiten kann, auch die gesuchte Parallaxe der Sonne. Da aber der Halbmesser des kreisförmigen Schattenschnitts nur schwer mit einiger Genauigkeit aus der Dauer der Finsternifs abgeleitet werden kann, so mufs auch dieses Verfahren als unbrauchbar verworfen werden, so sehr es auch von Coper-

Digitized by Google

NICUS, REGIOMONTAN, ALBATEGNIUS u. A. empfohlen worden ist. In der That fand PTOLEMÄUS durch diese Methode die Sonnenparallaxe gleich 2′50″, also über 20mal zu grofs.

TYCHO hatte noch eine sehr unvollkommene Kenntnifs dieses Gegenstandes, da er an mehrern Orten seiner Werke versichert, dafs die Parallaxe der Sonne durch die Mondfinsternisse mit grofser Zuverlässigkeit gegen 3 Minuten gefunden werde. Uebrigens hatte er zuerst die glückliche Idee, den Planeten Mars zur Zeit seiner Opposition, wo er uns am nächsten ist, zur Bestimmung der Sonnenparallaxe anzuwenden, allein er scheint diese Idee nicht ausgeführt oder mit seinen noch so unvollkommnen Instrumenten zu grofse Schwierigkeiten gefunden zu haben.

Nach dem bekannten dritten Gesetze KEPPLER's verhalten sich nämlich die Quadrate der Umlaufszeiten, wie die Würfel der halben grofsen Axen der Planetenbahnen. Was nun die Umlaufszeiten betrifft, so lassen sich diese leicht und mit grofser Genauigkeit bestimmen, wenn man nur zwei in der Zeit sehr weit von einander entfernte Beobachtungen hat. Auch kannten sie die alten Griechen bereits so genau, dafs die Neuern nur wenig mehr hinzuzufügen hatten. Demnach sind uns also, vermöge des Keppler'schen Gesetzes, die *Verhältnisse* der halben grofsen Axen der Bahnen oder, wie man auch sagt, der *mittleren Entfernungen* der Planeten sehr genau bekannt und es ist nur noch übrig, irgend eine dieser mittleren Entfernungen, z. B. die der Erde von der Sonne oder auch die des Mars, mit der gröfsten Schärfe zu bestimmen, um sofort auch aus jenen Verhältnissen die mittleren Entfernungen aller übrigen Planeten zu erhalten. Ist z. B. a und t die mittlere Entfernung und die siderische Umlaufszeit der Erde und bezeichnet man dieselben Gröfsen für Mars durch a′ und t′, so hat man, wenn $\Theta = \frac{t'}{t}$ ist, nach dem Keppler'schen Gesetze

$$\frac{a'}{a} = \Theta^{\frac{2}{3}}.$$

Fig. 829. Sey nun S die Sonne, T t die Bahn der Erde und M m ein Theil der Marsbahn. Wir nehmen hier der Kürze wegen beide concentrische Bahnen kreisförmig und in einer Ebene an. Dieses vorausgesetzt ist zur Zeit der Opposition, wo Mars der Sonne gegenüber steht, S T = a, S M = a′ und daher

$TM = a' - a$. Nennt man nun, wie zuvor, π die Sonnenparallaxe, d. h. den Winkel, unter welchem der Halbmesser der Erde aus dem Mittelpuncte der Sonne erscheint, und nennt man ebenso π' die Parallaxe des Mars zur Zeit der Opposition oder ist π' der Winkel, unter welchem der Halbmesser der Erde aus dem Mittelpuncte des Mars erscheint, so hat man, den Erdhalbmesser als Einheit vorausgesetzt,

$$\text{Sin.}\,\pi = \frac{1}{a} \text{ und } \text{Sin.}\,\pi' = \frac{1}{a' - a},$$

woraus folgt $\frac{a' - a}{a} = \frac{\text{Sin.}\,\pi}{\text{Sin.}\,\pi'}$ oder, da die Winkel π und π' nur sehr klein sind,

$$\frac{a'}{a} - 1 = \frac{\pi}{\pi'}.$$

Substituirt man in diesem Ausdrucke den vorhergehenden Werth von $\frac{a'}{a} = \Theta^{\frac{2}{3}}$, so hat man

$$\frac{\pi}{\pi'} = \Theta^{\frac{2}{3}} - 1,$$

so dafs man also mit Hülfe der letztern Gleichung die gesuchte Parallaxe π der Sonne finden wird, wenn die Parallaxe π' des Mars aus Beobachtungen bekannt ist. Es ist aber die Umlaufszeit der Erde $t = 365{,}25638$ und die des Mars $t = 686{,}97965$ Tagen; also ist $\left(\frac{t'}{t}\right)^{\frac{2}{3}} = \Theta^{\frac{2}{3}} = 1{,}523693$ und daher

$$\frac{\pi}{\pi'} = 0{,}523693.$$

Nimmt man die Sonnenparallaxe nach dem Vorhergehenden $\pi = 8'',578$ an, so findet man $\pi' = 16'',380$, also π' nahe doppelt so grofs als π, daher sich jene Gröfse π' aus den Beobachtungen leichter mit Sicherheit bestimmen lassen wird.

Der erste, der diese Methode, die Sonnenparallaxe zu bestimmen, mit einigem Erfolge anwendete, war D. Cassini[1]. Da zu diesem Verfahren zwei sehr weit in der geographischen Breite verschiedene Beobachter auf der Oberfläche der Erde erfordert werden, so verglich Cassini diejenigen Beobachtungen, die Picard und Römer zu Paris und zu gleicher Zeit

1 Élémens de l'astronomie verifiée. Par. 1684.

Richer in Cayenne gemacht hatten, und fand daraus die Parallaxe des Mars $\pi' = 25'',5$, woraus für die Sonnenparallaxe $\pi = 13'',4$ folgte. Er benutzte zu demselben Zwecke noch eine andere Methode, die Parallaxe eines Planeten aus einem und demselben Beobachtungsorte zu finden[1]. Allein weder er, noch Picard, noch La Hire, die im Jahre 1672 diese zweite Methode mit dem gröfsten Eifer anwendeten, kamen zu einem entscheidenden Resultate. Im Jahre 1704 und 1719 nahm Maraldi den Gegenstand wieder vor und fand $\pi' = 23''$, also $\pi = 12''$. Auch Bradley und Pound wendeten diese Methode im Jahre 1719 mit einem sehr vollkommnen Instrumente an und sie fanden aus lange fortgesetzten Beobachtungen $\pi' = 20''$ oder $\pi = 10'',5$. Im Jahre 1751 beobachtete Lacaille den Mars am Cap der guten Hoffnung, während ihn, der getroffenen Verabredung gemäfs, Bradley in Greenwich, Zanotti in Bologna, Cassini de Thury in Paris und Wargentin in Stockholm beobachteten. Aus einer grofsen Anzahl von Beobachtungen fand Lacaille im Mittel $\pi' = 26'',8$, also $\pi = 14'',0$. Auch die Venus wurde von den eben genannten Beobachtern zu demselben Zwecke gebraucht. Im Mittel aus allen darüber angestellten Untersuchungen zog Lacaille den Schlufs, dafs die Sonnenparallaxe gleich $10''\frac{1}{4}$ sey, und er hielt dieses Resultat bis auf das Viertel einer Secunde für gut.

So stand diese Sache bis zu den Jahren 1761 und 1769, wo die zwei letzten Durchgänge der Venus von der Sonne beobachtet wurden. Schon im Jahre 1677 hatte Halley auf der Insel St. Helena den Durchgang Mercurs vor der Sonne beobachtet und dabei die Bemerkung gemacht, dafs diese Durchgänge der untern Planeten oder eigentlich blofs die der Venus *ganz besonders geeignet* zur Bestimmung der Sonnenparallaxe sind. Es ist hier nicht der Ort, diesen Gegenstand umständlich auseinander zu setzen. Wir bemerken blofs, dafs Halley[2] die Bekanntmachung seiner Entdeckung mit den Worten schlofs: „Ich wünsche sehnlich, dafs von diesen „Durchgängen recht viele Beobachtungen an allen Orten der „Erde gemacht werden mögen, um dieses interessante und

1 Littrow's Vorlesungen über Astronomie. Wien 1830. Th. I. S. 275.
2 Philosoph. Trans. 1691. No. 348.

Digitized by Google

„wichtige Problem der Astronomie mit aller nur möglichen Ge-„nauigkeit aufzulösen. Ich empfehle daher diese Sache allen Astro-„nomen, die jene beiden Erscheinungen sehn werden, wenn ich „schon lange todt bin. Mögen sie glücklich seyn und durch „keine ungünstige Witterung dieses wünschenswerthen Anblicks „beraubt werden. Mag es ihnen gelingen, die so lange ge-„suchte Entfernung der Sonne von der Erde zu bestimmen „und dadurch den eigentlichen Maſsstab aufzufinden, mit wel-„chem dann die sterblichen Menschen die Räume des Sonnen-„systems ausmessen werden, und mögen sie sich dann auch „erinnern, daſs es ein Engländer war, der zuerst auf diese „glückliche Idee gekommen ist."

Es ist bekannt, daſs zu den Beobachtungen der beiden Durchgänge der Venus in den Jahren 1761 und 1769 alle gebildete Nationen Europa's ihre Astronomen in weit entlegene Länder geschickt und zu diesem Zwecke die kostbarsten Expeditionen ausgerüstet haben. Der Durchgang von 1761 wurde beobachtet am Cap der guten Hoffnung, zu Tobolsk, im nördlichen Schweden in Upsala und Cajaneburg und auf beinahe allen Sternwarten Europa's, aber da die Resultate dieser Beobachtungen nicht sehr unter einander übereinstimmten, so erwartete man mit Ungeduld den folgenden Durchgang vom 3. Junius 1769. Alles beeiferte sich, zu diesem Zwecke nach Kräften beizutragen. Der französische Minister Choiseul suchte bei der spanischen Regierung die Erlaubniſs nach, die Astronomen Frankreichs in die spanischen Besitzungen des Südmeers zu schicken, aber ohne Erfolg. La Chappe wurde nach Californien, Pingré nach St. Domingo, Veron nach Ostindien geschickt. Die englische Regierung sendete Dymond und Wales nach Nordamerica, Green in die Südsee, wohin er in Gesellschaft mit Cap. Cook, Forster und Solander fuhr, Call nach Madras u. s. f. Die russische Regierung lud mehrere deutsche Astronomen zu sich ein, lieſs viele kostbare Instrumente in London und Paris verfertigen und schickte Rumowski nach Kola, Pictet nach Umba, Wallet nach Ponoi, Islenief nach Yakutzk, Lowitz nach Gurief, Kraft nach Orenburg, Christ. Euler nach Orsk u. s. f. Der König von Dänemark bat sich den Wiener Astronomen Hell von der Kaiserin Maria Theresia aus und sendete ihn nach Wardhus in Lappland, während Planmann zu Cajaneburg in Finnland beobachtete u. s. f.

Nachdem diese Beobachtungen vollendet und bekannt gemacht worden waren, schickten sich viele Astronomen an, sie in ihrer Totalität zu berechnen. Leonhard Euler und Lagrange hatten dazu die geeignetsten Formeln aufgestellt. Durch diese Berechnungen sämmtlicher Beobachtungen oder doch des gröfsten und wichtigsten Theils derselben fand Lalande für die Gröfse der Sonnenparallaxe in der mittlern Distanz der Sonne von der Erde $\pi = 8'',53$; Euler[1] fand als Endresultat $8'',8$; Pingré[2] fand $8'',88$; Lexell $8'',63$; Du Séjour[3] $8'',84$ u. s. w.

In den neuesten Zeiten hat Encke sämmtliche Beobachtungen von 1761 und 1769 einer sehr strengen und sorgfältigen Rechnung unterworfen und daraus als Endresultat den schon oben angeführten Werth $\pi = 8'',578$ gefunden. Dabei werden wir nun wohl stehen bleiben müssen, bis die nächstfolgenden Venusdurchgänge, die in den Jahren 1874 am 8 Dec., 1882 am 6. Dec., 2004 am 7. Juni und 2012 am 5. Juni statt haben werden, uns diese Gröfse vielleicht noch etwas genauer kennen lehren. Mit diesem Werthe von $\pi = 8'',578$ findet man die mittlere Entfernung a der Sonne von der Erde

$$a = \frac{1}{\text{Sin. } \pi} = 24045{,}8 \text{ Erdhalbmesser}$$

oder auch $a = \frac{r}{\text{Sin. } \pi} = 20662548$ geogr. Meilen, wenn der Halbmesser der Erde $1 = 859{,}3$ solcher Meilen enthält. Ueberhaupt hat man folgende Zusammenstellungen zwischen diesen beiden Gröfsen:

Sonnenparallaxe ...	Distanz der Sonne in Erdhalbmessern
$8'',5$	24266
$8,6$	23984
$8,7$	23708
$8,8$	23430.

C. Gröfse der Sonne.

Da wir nun den scheinbaren Halbmesser der Sonne $\Delta = 960'',9$ und die mittlere Entfernung a ihres Mittelpuncts von dem der Erde kennen, so findet man daraus auch die

1 Mém. de Petersb. T. XIV.
2 Mém. de Paris. 1772.
3 Traité analyt. p. 486.

Digitized by Google

wahre Gröfse dieses Himmelskörpers. Ist nämlich R der Halbmesser der Sonne, dieselbe als eine Kugel betrachtet, so ist

$$R = a \cdot \text{Sin.} \measuredangle$$

oder der Halbmesser der Sonne ist 112019mal gröfser als der Halbmesser der Erde oder der Halbmesser der Sonne beträgt 96258,04 geogr. Meilen. Eine Kugel, die im Durchmesser nur 112mal gröfser ist als die Erde, scheint auf den ersten Blick noch nichts Erstaunenswerthes zu haben, allein eine nähere Betrachtung zeigt uns die Dimension eines solchen Körpers in einer ganz andern Gestalt.

Wir haben so eben gesehn, dafs die Sonne fast 400mal weiter von uns entfernt ist, als der Mond, und dafs erst zwölftausend solcher Kugeln, wie unsere Erde ist, gleich einer Perlenschnur hart an einander gereiht, eine Art von Brücke bilden würden, auf der wir von der Erde zur Sonne gelangen könnten. Man pflegt sich so grofse Distanzen durch bekannte Geschwindigkeiten deutlicher zu machen oder sinnlicher vorzustellen. Unsere am schnellsten segelnden Schiffe legen in einer Stunde im Mittel vier geographische Meilen zurück. Ein solches Schiff würde also über 589 Jahre gebrauchen, um von der Erde zur Sonne zu kommen. Der Schall bewegt sich in einer Secunde durch 1022 par. Fufs und er würde daher gegen 15 Jahre bedürfen, um diese Reise zu vollenden.

Eine Kanonenkugel von 24 Pfund, die mit dem dritten Theile ihres Gewichts oder mit 8 Pfund Pulver geladen wird, soll in der ersten Secunde nach ihrem Austritte aus der Mündung der Kanone 1470 par. Fufs zurücklegen. Nehmen wir an, dafs sie diese Geschwindigkeit beibehielte, ohne zu ermatten, so würde sie erst nach vollen 10 Jahren in der Sonne ankommen. Das Licht endlich, welches in jeder Secunde 41900 Meilen zurücklegt, wird mit dieser an das Entsetzliche grenzenden Geschwindigkeit von der Sonne zur Erde schon in der kurzen Zeit von 8 Minuten und $13\frac{1}{10}$ Secunden gelangen.

So erstaunenswürdig uns diese Entfernung der Sonne erscheint, ebenso bewunderswerth ist auch ihre Gröfse. Da der Halbmesser R derselben 96258,04 Meilen enthält, so hat die Oberfläche ihrer Kugel $4R^2\pi$ oder 116435 Millionen Quadratmeilen und ihr körperlicher Inhalt oder ihr Volumen beträgt

$\frac{4R^3\pi}{3}$ oder 3735937700 Millionen oder kürzer 3736 Billionen Kubikmeilen. Da der Halbmesser r der Erde nur 859,3 Meilen hat, so ist

$$\frac{\text{Oberfl. der Sonne}}{\text{Oberfl. der Erde}} = \frac{R^2}{r^2} = 12548 \text{ und}$$

$$\frac{\text{Volum. der Sonne}}{\text{Volum. der Erde}} = \frac{R^3}{r^3} = 1405648$$

oder die Oberfläche der Sonne ist 12548mal gröfser als die der Erde, sie ist selbst noch 50mal gröfser, als die aller Planeten, daher auf der Sonne 50mal mehr Geschöpfe zur Wohnung Raum haben würden, als auf allen Planeten zusammengenommen. Aus dieser Sonne würde man überdiefs 1405648 andere Kugeln, deren jede unserer Erde an Gröfse gleich wäre, bilden können und in dem innern Raume dieses erstaunenwürdigen Weltkörpers würden 112 Erdkugeln in gerader Linie neben einander aufgestellt werden können, und wenn in dem Mittelpuncte der Sonne unsere Erde sammt der ganzen Mondbahn von 100000 Meilen im Durchmesser sich befände, so würde doch diese Bahn noch bei weitem nicht die äufsern Grenzen jenes ungeheuren Raumes erreichen, sondern es würde um jene concentrische Aushöhlung der Sonne noch eine Rinde derselben übrig bleiben, deren Dicke nahe gleich dem Halbmesser jener Höhlung ist, oder endlich, um die Erde sammt ihrer Mondbahn in den Mittelpunct der Sonne zu versetzen, würde man um diesen Mittelpunct der Sonne einen Theil derselben kugelförmig aushöhlen müssen, der nur den siebenten Theil des ganzen körperlichen Inhalts der Sonne beträgt. Dieses Volumen der Sonne ist so grofs, dafs alle Planetenkugeln zusammen genommen noch nicht den 560sten Theil der Sonnenkugel an Raum einnehmen.

D. Masse der Sonne.

Es ist bereits oben[1] gezeigt worden, auf welche Weise man die Masse der himmlischen Körper finden könne, und daselbst die Masse der Sonne in runder Zahl 355000mal gröfser als die Masse der Erde gefunden worden. Während das Volumen der Sonne

---

1 S. Art. *Masse*. Bd. VI. und *Gravitation*. Bd. IV. S. 1646.

nach dem Vorhergehenden gegen 1¼ Millionmal gröfser ist, als das der Erde, übertrifft der in der Sonne enthaltene materielle Stoff den der Erde nur 355000mal, woraus also folgt, dafs der Stoff, aus welchem die Sonne besteht, viel lockerer oder weniger dicht ist, als jener der Erde. Da überhaupt die Dichtigkeit eines jeden Körpers gleich seiner Masse dividirt durch sein Volumen ist, so ist die Dichtigkeit des Sonnenkörpers gleich

$$\frac{355000}{1405648}$$

oder nahe gleich ¼ der mittleren Dichtigkeit der Erde.

Nach Maskelyne's und Cavendish's bekannten Versuchen ist aber die mittlere Dichtigkeit der Erde[1] nahe 5mal gröfser, als die des reinen destillirten Wassers. Die Dichtigkeit der Sonnenmasse ist also ¼ der Dichtigkeit des Wassers oder der Körper der Sonne hat im Mittel dieselbe Dichtigkeit, wie viele unserer Holz- und Harzarten, wie das gemeine Pech oder wie die Steinkohle.

Dieses lockeren Gewebes ungeachtet enthält doch die Sonne, wegen ihres ungeheuern Volumens, 355000mal mehr materiellen Stoff, als die Erde, und noch gegen 800mal mehr, als alle Planeten zusammengenommen. Diese grofse Masse aber ist es, welche die Sonne zu dem eigentlichen Monarchen ihres grofsen Staates macht. Nicht weil sie den Mittelpunct des Planetensystems einnimmt, nicht weil sie alle ihre Unterthanen mit Licht und Wärme versorgt, nicht weil sie an Umfang alle zusammen über 560mal übertrifft, sondern weil das, was in diesem Umfange enthalten ist, weil ihre ponderable Substanz, ihr materieller Stoff, ihre Masse, die aller andern Planeten noch gegen 800mal übertrifft, ist sie der Herr und Lenker derselben geworden. Diese grofse Masse ist es, wodurch sie alle Planeten an sich fesselt und sie zwingt, die ihnen angewiesenen Bahnen in schweigendem Gehorsam um sie zu beschreiben. Diese alle andern Mitglieder ihres ausgedehnten Reiches so weit überwiegende Masse ist auch die eigentliche Ursache der streng monarchischen Einrichtung unsers Planetensystems. Was in andern Systemen entweder Geisteskraft oder Militärmacht heifst, das ist dort die körperliche

---

1 S. Art. *Erde*. Bd. III. S. 940.

Masse, die dem Regenten selbst einwohnende Kraft, mit der er alles an sich zieht und seinem Willen unterordnet. Hierin liegt auch zugleich die Ursache, warum in jenem Systeme, von dem unsere Erde nur einen sehr geringen Theil ausmacht, so viel mehr Ordnung und Gehorsam herrscht, als in den meisten kleinern, ähnlichen Systemen, welche die Menschen selbst auf ihrem Planeten errichtet haben, weil in den letzten die dort statt habende Erscheinung unsers Wissens wenigstens noch nicht vorgekommen ist, dafs der Centralplanet an Geisteskraft die aller andern Planeten zusammen genommen achthundertmal übertreffe.

E. Fall der Körper auf der Sonne.

Auf der Oberfläche der Erde fallen bekanntlich alle Körper, wenn sie nicht gehalten oder wenn sie ihrer Unterstützung beraubt werden, in einer gegen diese Oberfläche senkrechten Richtung. Die Ursache dieses Fallens ist die Schwere der Erde oder die Anziehung, welche sie, d. h. welche ihre Gesammtmasse, auf jeden Körper aufser ihr ausübt. Dieser Fall beträgt, nach den genauesten Messungen, in der Breite von Paris 15,093 par. Fufs[1]. Wir wollen diese Gröfse oder die Schwere der Erde durch g bezeichnen und m die Masse, so wie r den Halbmesser der Erde nennen. Für irgend einen andern Himmelskörper sollen dieselben Gröfsen g', m' und r' seyn. Dieses vorausgesetzt ist die Kraft der Anziehung jedes Körpers auf einem andern, nach dem Newton'schen Gesetze der allgemeinen Attraction, gleich der Masse des anziehenden Körpers dividirt durch das Quadrat der Entfernung desselben von dem angezogenen Körper. Da nun die Kraft der Anziehung oder da eigentlich das Mafs dieser Kraft eines jeden Körpers die so eben erwähnte *Schwere* desselben ist, so hat man

$$g : g' = \frac{m}{r^2} : \frac{m'}{r'^2} \text{ oder}$$

$$\frac{g'}{g} = \frac{m'}{m} \cdot \frac{r^2}{r'^2}.$$

Diese Gleichung wird uns den Weg geben, welche die Körper auf der Oberfläche der Sonne in ihrem freien Falle wäh-

---

1 S. *Schwere.*

Digitized by Google

rend der ersten Secunde zurücklegen. Ist nämlich der Halbmesser der Erde $r = 1$, so ist, nach dem Vorhergehenden, jener der Sonne $r' = 112{,}019$. Ist ferner die Masse der Erde $m = 1$, so ist die der Sonne $m' = 355000$. Endlich beträgt die Schwere der Erde $g = 15{,}093$ Fufs. Substituirt man diese Werthe in der letzten Gleichung, so erhält man

$$\frac{g'}{g} = 28{,}29 \text{ und } g' = 426{,}993 \text{ oder nahe} = 427,$$

also ein Körper, der auf der Oberfläche der Erde mit dem Gewichte von einem Pfunde auf seine Unterlage drückt, wird auf der Oberfläche der Sonne mit einem Gewichte von 28,29 Pfunden drücken und auf der Oberfläche der Sonne fallen die Körper in der ersten Secunde durch 427 Fufs, also 28,29mal weiter, als auf der Erde. Ein Körper, der bei uns z. B. 100 Pfund wiegt, wird auf der Sonne 2829 Pfunde oder 28 Centner wiegen. Ein solches Experiment factisch nachzuweisen, selbst wenn wir zur Oberfläche der Sonne gelangen könnten, würden unsere gewöhnlichen Waagen nicht genügen, da das Gewicht in der andern Schale der Waage ebenfalls ein Körper und daher auch 28mal schwerer seyn müfste. Eine andere Maschine aber, z. B. eine elastische Feder, die den Druck der auf ihr liegenden Körper angäbe, würde hier schon bessere Dienste leisten. Aber abgesehn davon, dafs wir kein Mittel haben, bis zur Sonne zu gelangen oder uns vor dem äufserst schnellen Falle zu schützen, mit dem wir in sie stürzen würden, oder uns vor der grofsen Hitze zu bewahren, die wie in ihrer Nähe wahrscheinlich zu erleiden hätten, so würde schon jener gröfsere Druck selbst unsern Aufenthalt auf der Sonne für uns ganz unmöglich machen. Unser eigener Körper würde nämlich uns selbst ebenfalls mit einem 28mal gröfsern Gewicht drücken und die 150 Pfunde, die wir etwa hier mit uns herumtragen, würden dort mit einer 28mal gröfseren Kraft oder mit einem Gewichte von 4200 Pfunden auf uns lasten, und wir würden daher, da wir unser eigenes Gewicht nicht mehr ertragen könnten, von uns selbst erdrückt werden.

F. Physische Beschaffenheit der Sonnen-Oberfläche.

Die selbst für unsere besten Fernröhre viel zu grofse Entfernung der Sonne von der Erde bietet unserer Untersuchung ihrer Oberfläche sehr grofse Hindernisse dar.

Das Merkwürdigste dieser Oberfläche ist offenbar das *Selbstleuchten* derselben, eine Erscheinung, die wir bei keinem andern Körper unsers Planetensystems, wenigstens nicht in diesem hohen Grade, antreffen. Die Sonne scheint von einem Lichtmeere umgeben zu seyn. Diese Photosphäre ist, wie die Beobachtungen zeigen, in immerwährender heftiger Bewegung und in ihr gehn Revolutionen vor, mit denen unsere Stürme und Ungewitter nicht verglichen werden können. Man sieht auf diesem Feuermeere oft sehr grofse, schwarze *Flecken*, die unsere Erde an Oberfläche fünf- und mehrmal übertreffen, und, gewöhnlich in der Nähe dieser Flecken, wieder hellere Stellen, die sich durch ihr blendendes Licht von dem übrigen Sonnengrunde auszeichnen und *Fackeln* genannt werden. Aber auch der übrige Theil der Sonne, der weder Flecken noch Fackeln zeigt, ist doch nirgends gleich licht, sondern durchaus mit kleinen Schuppen besäet, die ihren Ort verändern. Dadurch gewinnt die Oberfläche der Sonne das Ansehn des Bodensatzes einer flockigen Substanz, die in einer durchsichtigen Flüssigkeit aufgelöst worden ist. Es scheint, als ob das eigentliche Lichtmeer der Sonne mit einer wohl durchsichtigen, aber an sich nicht selbstleuchtenden Flüssigkeit vermischt ist, ohne dafs sich diese beiden Körper vollkommen durchdrungen haben, wo dann diese Flüssigkeit in der eigentlichen Lichthülle schwimmt, wie unsere Wolken in der Atmosphäre, oder wo diese Flüssigkeit jenes Lichtmeer in mächtigen Streifen durchzieht, wie das Nordlicht unsere Luft.

Die erwähnten *dunklen* Flecken scheinen anzudeuten, dafs der eigentliche, von jener Photosphäre gleich einem Dunstkreise umgebene *Körper* der Sonne an sich selbst ebenfalls dunkel und lichtlos sey. Die nähere Betrachtung jener Flecken läfst kaum einen Zweifel darüber, dafs sie Oeffnungen sind, die in der Photospäre der Sonne entstehn, und dafs man durch diese Oeffnungen den eigentlichen dunklen Körper der Sonne erblickt. Auf dieser Voraussetzung beruhn die

Messungen oder Schätzungen der Höhe dieser Lichtsphäre, die der ältere Herschel angestellt hat. Er fand diese Höhe nahe 500 Meilen und oft noch beträchtlich gröfser, so dafs er glaubt, die Höhe jenes Lichtmeers sey nahe dem Halbmesser der Erde (859 Meilen) gleich.

Uebrigens scheint auch die Atmosphäre der Planeten, wenigstens einiger derselben, selbstleuchtender oder phosphorischer Art zu seyn. Wir sehn dieses an unsern Nordlichtern, an dem schwachen Lichte auf der von der Sonne nicht beschienenen Seite der Venus, bei den totalen Mondfinsternissen, in welchen der Mond, obschon er kein Licht mehr von der Sonne erhält, doch nicht gänzlich unsichtbar wird, und besonders an den Kometen, bei denen man noch keine Phasen bemerkt hat und die alle mit einem eignen, obgleich sehr schwachen Lichte versehn zu seyn scheinen. Der kleinste aller Planeten, Vesta, dessen Durchmesser nach Schröter nur 58 Meilen beträgt, der also an Volumen 25000mal kleiner ist, als die Erde, strahlt doch meistens in einem sehr hellen Lichte, daher sie auch Schröter, sowie die Sonne, für selbstleuchtend hielt, so dafs, durch eine sonderbare Vereinigung der äufsersten Extreme, der kleinste Körper unsers Sonnensystems zugleich die Natur des gröfsten haben soll. Ueberhaupt scheinen die vier neuen Planeten, ihrer eignen Kleinheit ungeachtet, gewaltige Atmosphären zu haben. Ceres und Pallas sind oft in einen dichten Nebel eingehüllt, während sie wieder zu andern Zeiten scharf begrenzt erscheinen und in dem reinsten Lichte glänzen. Ebenso veränderlich hat man die *Farbe* der Ceres gefunden, die bald röthlich, bald ganz weifs ist und bald wieder in einem bläulichen Lichte schimmert. Diese Veränderungen auf und über der Oberfläche der neuen Planeten deuten auf ungeheuere Revolutionen, die in ihren Atmosphären vorgehn mögen[1].

Ueber die Frage, ob die Sonne ein Feuer sey, ist in ältern und neuern Zeiten viel disceptirt worden. Kircher[2] folgerte aus der Erwärmung der Erde durch die Sonne und aus der grofsen Hitze in dem Brennpuncte unserer Hohlspiegel ohne Anstand, dafs die Sonne ein Meer von eigent-

1 Gedanken über die Entstehung des Weltalls von Marschall von Bieberstein. Giefsen 1802. Mon. Corr. Bd. XIV. S. 418.

2 Mundus subterr. Amst. 1678.

lichem Feuer sey, das er dem eines fliefsenden Metalls in einem Schmelzofen ähnlich hielt. Wolf sucht den Satz, dafs die Sonne ein wahres Feuer sey, nach seiner Art sogar mathematisch zu beweisen, weil sie nämlich leuchtet, erwärmt, brennt u. s. w. In den spätern Zeiten, besonders seit man durch Lavoisier den eigentlichen Verbrennungsproceſs näher kennen gelernt hat, sucht man sich von jener Idee, dafs die Sonne ein eigentlich brennender oder flammender Körper sey, immer mehr zu entfernen, vorzüglich aus dem Grunde, weil ein solches Feuer nicht ohne immerwährende Nahrung, ohne Zersetzung eines brennbaren Stoffs und ohne Mitwirkung einer dephlogistisirten Luft bestehn könnte. Man hat geglaubt, und selbst Newton hat dieser Idee seinen Beifall gegeben, dafs die Kometen, deren Anzahl wahrscheinlich sehr grofs ist, von Zeit zu Zeit in die Sonne stürzen und ihr so Brennstoff zuführen. Allein diese Vorstellung von einer eigentlichen ponderablen Nahrung der Sonne scheint doch zu roh, da wir selbst auf der Erde viele Feuer kennen, denen keine solche Nahrung zugeführt wird. Wie viele Mittel mag die Natur besitzen, Licht und Wärme auch ohne solche äufsere Mittel zu erzeugen. So ist bekannt, dafs die Elektricität, wenn sie eine sehr verdünnte Luft durchzieht, Licht, also wohl auch Wärme, giebt. Könnte nicht auch ein ähnlicher Strom die Sonne umgeben? Ist nicht unser Nordlicht vielleicht etwas Aehnliches für die Erde?

Andere haben geglaubt, die Schwierigkeiten, welche sich der Voraussetzung einer wirklich mit Flammen brennenden Sonne entgegensetzen, zu umgehn, wenn sie ihre Oberfläche blofs für glühend erklären. Allein auch glühende Körper, wenn sie immerwährend Wärmestoff entwickeln sollen, haben eine Umgebung, die diesen Wärmestoff aufnimmt, und einen von aufsen gegebenen Unterhalt nöthig. Wieder andere stellen sich die Sonne als eine elektrische Kugel vor, die durch ihren schnellen Umlauf elektrisches Licht hervorbringt[1]. Schmidt erwähnt einen Versuch des Professors Adam zu Caen, der zwei Körper so gestellt haben soll, dafs sie, blofs durch Elektricität angetrieben, nach den Keppler'schen Gesetzen um einander liefen, wobei der umlaufende Körper

1 Schmidt von den Weltkörpern. S. 120.

Digitized by Google

einen Lichtschweif, gleich dem eines Kometen, nach sich gezogen habe. Man hat von diesem Experimente, das schon im J. 1775 ausgeführt worden seyn soll, seitdem nichts weiter gehört. Auch Euler[1] und Bode erklären sich für diese Ansicht einer elektrischen Sonnenkugel.

So wie diese Sache jetzt steht, wird es wohl am besten seyn, unsere Unkenntnifs derselben zu gestehn und alle eigentliche Urtheile bis auf bessere Zeiten zu suspendiren. Wenn die Sonne, was auch in den letzten Jahrzehnten dagegen gesagt worden ist, in der That ein Feuer seyn sollte, so ist es doch gewifs von unserem irdischen Feuer sehr verschieden. Wie liefse sich sonst das Eis auf den Gipfeln unserer Berge, selbst in den Tropenländern, erklären? Oder wie sollte unser Feuer, zu einer noch so grofsen Masse angehäuft, in der Entfernung von zwanzig Millionen Meilen noch Kraft genug besitzen, die Haut des Negers schwarz zu färben und den Saft des Zuckerrohrs zu sieden? Ueberdiefs sind Licht und Wärme, so oft wir sie auch bei einander finden, ohne Zweifel zwei sehr verschiedene Dinge. Wir können Wärme durch Reibung, durch blofse wiederholte starke Schläge erzeugen, wie unsere Mollet'schen Luftfeuerzeuge und selbst unser gewöhnliches Feueranschlagen durch Stahl und Stein zeigen. Wir erzeugen ferner Wärme, und zwar oft in einem sehr hohen Grade, durch chemische Einwirkungen der Körper auf einander, wofür man ganze grofse Reihen von Beispielen aufführen könnte. Es ist daher auch gar wohl möglich, dafs die Sonnenstrahlen, obschon sie unter allen uns bekannten Mitteln, die Wärme zu erregen, die fruchtbarsten und weitverbreitetsten sind, an sich selbst gar keine Wärme besitzen und nur den in den Körpern latenten Wärmestoff vorzüglich zu entwickeln fähig sind. Auch dieses ist eine in unsern Tagen beinahe allgemein angenommene Meinung. Vielleicht geschieht diese Wärmeentwickelung durch die Sonnenstrahlen blofs mit Hülfe der ungeheuren Geschwindigkeit, mit welcher diese Strahlen auf die Elemente der Körper stofsen und dadurch entweder dessen Elemente augenblicklich in einen kleinern Raum zusammenpressen, oder doch eine heftige Reibung an einander verursachen.

---

1 Briefe an eine deutsche Prinzessin.

Dessenungeachtet scheinen doch mehrere wichtige Gründe dafür zu sprechen, dafs die Temperatur auf der Oberfläche der Sonne selbst ungemein grofs seyn mufs. Das Licht sowohl, als auch die strahlende Wärme, nimmt verkehrt wie das Quadrat der Entfernung von dem leuchtenden oder erwärmenden Körper ab, so dafs beide z. B. in der Entfernung von 100 Meilen nur den zehntausendsten Theil ihrer Gröfse in der Entfernung von einer Meile betragen. Wenn nun die durch die Sonnenstrahlen auf unserer Erde in den Tropenländern erregte Hitze schon so grofs ist, wie stark mufs sie auf der Oberfläche der Sonne selbst, in einer 20 Millionen gröfsern Annäherung, seyn? Wenn man annimmt, dafs die Körper auf der Sonne für die Erwärmung durch die Sonnenstrahlen dieselbe Empfänglichkeit haben, wie die Körper der Erde, so mufs die Erwärmung der Sonne auf ihrer Oberfläche über 300000mal gröfser seyn, als auf der Oberfläche der Erde. Unsere Brennspiegel sind weit entfernt, eine so grofse Hitze zu erzeugen, und doch kann man in ihrem Brennpuncte Gold und Platin schmelzen und selbst Diamanten verbrennen. Unsere irdischen Feuer senden bekanntlich ihre Strahlen desto leichter durch das Glas, je gröfser und je intensiver diese Feuer sind. Ein doppelt so starkes Feuer schickt auch doppelt so viele Strahlen durch das Glas. Nun gehn aber die Sonnenstrahlen mit einer ganz besondern Leichtigkeit durch Glas. Mit dem sogenannten *Aktinometer*, einem unserer verläfslichsten physikalischen Instrumente, fand der jüngere Herschel, dafs von je 1000 Wärmestrahlen der Sonne 816 durch eine Glasplatte von 1,5 Lin. Dicke gehn und dafs von 1000 bereits durch eine solche Platte gegangenen Strahlen wieder fast 860 noch stark genug sind, durch eine zweite ebenso dicke Glasplatte zu gehn. Unsere irdischen Feuer sind sämmtlich weit entfernt, eine so grofse Leichtigkeit des Durchgangs ihrer Strahlen zu zeigen, und man darf sich daher wohl den Schlufs erlauben, dafs sie dem Feuer der Sonne an Intensität ebenfalls weit nachstehn.

Wenn man endlich eine Lichtkerze, eine brennende Fackel zwischen Auge und Sonne hält, so verschwindet das Licht von jenen gegen das der Sonne, weil jenes von dem viel intensivern Lichte der Sonne absorbirt wird. Selbst das Licht des sogenannten indischen Weifsfeuers oder auch das

des ungelöschten Kalks, das zu dem lebhaftesten gehört, was wir hervorbringen können, bemerken wir nicht mehr auf dem immer noch viel hellern Hintergrunde der Sonnenscheibe.

Es ist daher doch noch immer möglich und vielleicht selbst wahrscheinlich, dafs der eigentliche Sonnenkörper, so dunkel er auch in seinem Kern seyn mag, wie die schwarzen Flecken zeigen, an seiner Oberfläche in dem Zustande der heftigsten Verbrennung sich befinde.

Dieser Annahme, sagt man, steht aber die Unveränderlichkeit der Gröfse des Sonnendurchmessers entgegen. Ist diese Unveränderlichkeit durch Beobachtungen in der That schon bewiesen? Das, was oben über den scheinbaren Durchmesser der Sonne gesagt worden ist, läfst, wie man gesehn hat, noch gar manchen Zweifel übrig. Wenn auf der Oberfläche der Sonne ein eigentliches Verbrennen irgend einer Art, eine Consumtion des brennbaren Stoffes statt finden soll, so scheint es, dafs der Durchmesser derselben mit der Zeit kleiner werden müsse. Manche Beobachtungen sprechen dafür und ebenso viele dagegen. Wir kennen diesen Durchmesser erst seit der Anbringung der Mikrometer an die Fernröhre, d. h. seit dem J. 1650 mit einiger Genauigkeit und selbst jetzt noch sind wir, wie wir oben gesehn haben, bis auf 1 oder 2 Secunden über die wahre Gröfse desselben ungewifs. Eine Secunde des scheinbaren Durchmessers der Sonne beträgt aber schon gegen 100 Meilen des wahren Durchmessers derselben. Wenn daher der wahre Durchmesser der Sonne seit den letzten zwei Jahrhunderten auch um volle 200 Meilen abgenommen hätte, d. h. wenn durch die Verbrennung auf der Oberfläche der Sonne seit dieser Zeit von dem eigentlichen Brennstoffe der Sonne zwölf Billionen Kubikmeilen, also ein Volumen von Brennstoff, das 4520mal das Volumen unserer Erde überträfe, consumirt worden wäre, so würde dadurch doch der scheinbare Halbmesser der Sonne erst um eine einzige Secunde, d. h. um eine Gröfse abgenommen haben, über die wir mit unsern besten Beobachtungen noch gänzlich im Zweifel sind. Ja wenn der wahre Halbmesser der Sonne selbst täglich um einen Fufs kleiner würde, so würde dieses in dem scheinbaren Halbmesser erst nach 6000 Jahren eine Verminderung von einer Secunde betragen. Doch müfste diese Abnahme in der Folge der Zeiten beträchtlich werden, selbst

Digitized by Google

wenn sie an sich noch so gering ist. Das Sonnenlicht ist über 300000mal stärker, als das des Vollmonds, und fast 800-mal stärker, als das des Sirius. Auch scheint diese Sonne mit der Aussendung ihres Lichtes sehr verschwenderisch zu seyn, da sie viel mehr ausscheidet, als zur blofsen Beleuchtung und Erwärmung der Planeten nöthig ist, so dafs man versucht wird zu glauben, dieses Licht habe noch ganz andere Zwecke, die den Weltraum selbst näher angehn. Auf der Peripherie der Erdbahn würden über 70000 Erden Platz haben und daselbst von der Sonne beleuchtet und erwärmt werden können, während diese Wohlthaten jetzt nur dieser einzigen Erde zu Gute kommen. Und wie viel dieses Lichtes geht erst in die grofsen Zwischenräume, welche die Planeten von einander trennen, wenigstens scheinbar verloren. Allein wir sind auch in gänzlicher Unkenntnifs über die Mittel, die der Natur zu Gebote stehn, diesen Verlust wieder zu ersetzen, und vielleicht kommt bei den Körpern des Himmels, im Ganzen betrachtet, nicht sowohl der Gewinn oder der Verlust des Einzelnen, als vielmehr nur der Grad des gegenseitigen Austausches des Lichts in Betrachtung. Sollte endlich, wie man in unsern Zeiten beinahe allgemein glaubt, das Licht nicht sowohl in einer Emanation eines eigentlichen körperlichen Stoffes, sondern nur in der Vibration eines die Sonne umgebenden Mediums bestehn, so fällt ohnedieſs jeder Zweifel über die Abnahme des Volumens der Sonne weg.

Wir haben oben gesehn, dafs die Dichtigkeit der Sonnenmasse nur den vierten Theil von jener der Erde betrage, dafs also das Gewebe, aus dem die Sonne besteht, sehr locker ist. Allein dieses bezieht sich nur auf die *mittlere* Dichtigkeit dieser so weit ausgedehnten Masse und es ist gegen alle Wahrscheinlichkeit, dafs die Masse der Sonne, sowie die der Erde, in allen Entfernungen von ihrem Mittelpuncte gleich grofs seyn sollte. Vielmehr mufs diese Dichtigkeit gegen den Mittelpunct zunehmen und in einer grofsen Nähe bei ihm ganz aufserordentlich seyn, weil hier die Masse der Sonne durch die Kraft ihrer eignen Anziehung so stark zusammen gedrückt wird. Es ist aber bekannt, dafs die Temperatur aller Körper, wenn sie einer heftigen Compression ausgesetzt werden, sehr hoch ist, so dafs also höchst wahrscheinlich im Innern der Sonne, sowie auch bei der Erde, eine sehr grofse Hitze herrschen

Digitized by Google

wird und dafs vielleicht nur die durch diese Hitze vermehrte Elasticität der Sonnenmasse hindert, dafs sie nicht durch ihre eigene Attractionskraft in einen sehr kleinen Raum zusammengedrückt werde.

Ganz anders aber kann sich dieses auf der Oberfläche der Sonne, d. h. auf der Oberfläche des eigentlichen Kerns der Sonne, verhalten und es ist möglich, dafs die Bewohner dieser Fläche, wenn es solche giebt, mehr über Kälte, als über zu grofse Hitze zu klagen haben. Denn das bereits erwähnte, die Sonne rings umfliefsende Lichtmeer scheint keineswegs die einzige Hülle zu seyn, welche die innere, eigentliche Sonne umgiebt. Die nähere Betrachtung der Sonnenflecken führt uns gleichsam von selbst noch auf eine zweite, innere, den Kern der Sonne zunächst umgebende Hülle, welche die Eigenschaft hat, dafs sie das Licht der obern Photosphäre nicht durchläfst, sondern dasselbe vollkommen reflectirt. Dann würde aber die Oberfläche der eigentlichen Sonne vor der Einwirkung des obern Lichtmeers völlig geschützt seyn und sich in dem Zustande einer sehr tiefen Temperatur befinden können.

Wenn die Dichtigkeit der Sonnenmasse mit ihrer Entfernung von dem Mittelpuncte sehr schnell abnimmt oder wenn dieses auch nur von ihrer atmosphärischen Umgebung gilt, so würde ebenfalls keine oder doch nur eine geringe Hitze abwärts geleitet werden. Vielleicht ist jene graue Einfassung, mit welcher die schwarzen Sonnenflecken stets umgeben sind, diese vollkommen spiegelnde Umgebung dieses Himmelskörpers.

Der ältere Herschel glaubt diese graue Einfassung der dunklen Flecken und die ganze Ansicht derselben, wie sie sich ihm in seinen starken Fernröhren darstellte, nur durch eine *dreifache* atmosphärische Umgebung der Sonne erklären zu können. Nach seiner Darstellung[1] besteht die erste oder von dem Mittelpuncte am meisten entfernte Umgebung aus jenem Lichtmeere. Unmittelbar unter derselben liegt eine andere, äufserst elastische und transparente concentrische Schicht, die durch ihre Elasticität jene erste Schicht stets in einer sehr grofsen Höhe über der Sonne erhält. Unter dieser zweiten Schicht endlich liegt, zunächst an der eigentlichen Sonne, aber immer noch weit von der Oberfläche derselben entfernt, eine

1 Philos. Trans. 1801.

dunkle, dichte, wolkenartige Schicht. Durch die Revolutionen, welche auf der obersten Schicht vorgehn und die sich auch den beiden andern, tiefer liegenden, mittheilen, trennen sich diese Schichten an einzelnen Orten und bekommen gleichsam Risse. Durch diese Risse der obersten Schicht, wodurch die Lichtmaterie an dem Rande des Risses gleichsam in Wänden aufgethürmt wird, dringen die Strahlen dieser leuchtenden Wände, erhellen dadurch, nachdem sie durch die transparente zweite Schicht ungehindert durchgegangen sind, die unterste, schwarze Wolkenschicht und bilden auf diese Weise jene aschgraue Einfassung des an sich dunklen Fleckens, so dafs diese Einfassung von jenen dunklen Wolken, die von den schiefen Wänden des obern Theils der Spaltung beleuchtet werden, der schwarze Flecken aber von dem eigentlichen Kern der an sich dunklen Sonne erzeugt wird, auf deren Oberfläche jenes Licht des obern Theiles der Spalte nicht mehr gelangen kann, weil es durch die unterste Wolkenschicht daran verhindert wird. Wir werden weiter unten bei Gelegenheit der näheren Beschreibung der Sonnenflecken auf diesen Gegenstand wieder zurückkommen.

G. Wirkungen der Sonnenstrahlen auf die Erde.

Die Wirkungen der Sonnenstrahlen auf die Erde sind eben so mannigfaltig als ausgebreitet, durch die von ihnen erzeugte Wärme in der Atmosphäre entstehn die Winde und alle jene Störungen in dem elektrischen Gleichgewichte der Luft, welche die Erscheinungen des Erdmagnetismus begleiten. Durch die belebende Kraft dieser Strahlen entstehn aus der unorganischen Materie die Pflanzen, die Träger und Stützen der Thiere und Menschen. Diese Strahlen führen die Gewässer der Meere in der Gestalt von Dämpfen durch die Luft und erzeugen dadurch, wenn sie wieder in ihrer ursprünglichen Form zur Erde zurückfallen, unsere Quellen und Flüsse. Die durch diese Strahlen erzeugte Temperatur bringt beinahe alle jene Störungen des chemischen Gleichgewichts hervor, die zwischen den einzelnen Körpern der Natur und ihren Elementen immerwährend statt haben und die in einer unabsehbaren Reihe von Auflösungen und Zusammensetzungen diese Körper unter einander mischen und selbst neue erzeugen.

Digitized by Google

Die Temperatur auf jedem Puncte der Oberfläche der Erde hängt vorzüglich davon ab, wie lange und unter welcher Richtung dieser Punct den Sonnenstrahlen ausgesetzt ist. In unsern Sommern sind die Tage viel länger als im Winter und dieser Unterschied nimmt mit der geographischen Breite zu, daher auch der immer gröfsere Unterschied der Temperatur in diesen beiden Jahreszeiten. Aber auch in unserm Sommer fallen die Strahlen der Sonne, selbst im Mittage, nur schief auf unsern Boden und diese Schiefe nimmt ebenfalls mit der geographischen Breite zu, daher der grofse Unterschied der Temperaturen, selbst in denselben Jahreszeiten, bei den dem Pole nähern Ländern und in der heifsen Zone, wo die Sonne im Mittage im Scheitel des Beobachters steht. Endlich nehmen auch diese Strahlen, wenn die Sonne näher am Horizonte steht, einen viel längern Weg durch die Atmosphäre und zwar durch den der Erde nächsten oder durch den dichtesten Theil der Atmosphäre, wodurch die Wirkung dieser Strahlen bedeutend geschwächt wird, was ebenfalls auf die mittlere Temperatur der näher und weiter vom Aequator liegenden Zone Einfluſs hat und woraus sich der oft so grofse Unterschied der Wärme unserer Tageszeiten erklären läfst.

Um diese drei Ursachen der Verschiedenheit der Temperatur auf der Oberfläche der Erde auf eine einfache Weise darzustellen, betrachten wir zuerst die *Dauer des längsten und kürzesten Tages* in verschiedener Breite. Die folgende Tafel giebt die gröfste Länge des Tages im Sommer, also auch die gröfste Länge der Nacht im Winter von Stunde zu Stunde.

Längster Tag	geogr. Breite
13 Stunden	16° 42′
14 —	30 48
15 —	41 24
16 —	49 0
17 —	54 25
18 —	58 30
19 —	61 18
20 —	63 24
21 —	64 48
22 —	65 47
23 —	66 18
24 —	66 25

Digitized by Google

Die Stadt Goa in Hindostan, deren geogr. Breite nahe die erste in der vorhergehenden Tafel ist, hat also nur eine Stunde für den gröfsten Unterschied des Tages und der Nacht, während Archangel in der Breite von 64° 25′ für diesen Unterschied des Tags und der Nacht schon 8 Stunden 42 Minuten hat, und in gröfsern Breiten wird dieser Unterschied, also auch jener der mittlern Temperatur, noch viel gröfser, bis endlich, jenseit des Polarkreises, die Sonne mehrere Tage, ja Monate im Winter gar nicht mehr auf- und im Sommer nicht mehr untergeht.

Ueberdiefs nehmen aber auch die Sonnenstrahlen im Winter einen viel längern Weg durch die Atmosphäre, als im Sommer, daher dort ihre Wirkung, durch die Absorption des Lichts in der Luft, viel mehr geschwächt wird. Sey BA die Fig. 330. Oberfläche der Erde, T ihr Mittelpunct und $\alpha\beta$F die die Erde concentrisch umgebende Atmosphäre. Sey α der Ort der Sonne beim Auf- oder Untergange derselben für den Beobachter in B und sey β der mittägige Standpunct der Sonne zur Zeit des Winter- und γ endlich zur Zeit des Sommersolstitiums, wo also, wenn der Beobachtungsort B z. B. in dem Parallelkreise von Wien oder von der Breite 48° 12′ liegt, die mittägige Zenithdistanz $F\beta = 71° 40'$ und $F\gamma = 24° 44'$ ist. Zieht man die Geraden $B\alpha$, $B\beta$ und $B\gamma$ und nimmt man die Höhe der Atmosphäre BF = 10 Meilen an, so findet man $B\gamma = 10{,}5$, $B\beta = 30{,}5$ und $B\alpha = 131$ Meilen, da der Halbmesser der Erde TB = 859 Meilen beträgt, also

$$B\alpha = \sqrt{T\alpha^2 - TB^2} = \sqrt{869^2 - 859^2} = 131$$

ist. Wenn also die Sonnenstrahlen im höchsten Sommer blofs den Weg $B\gamma = 10\frac{1}{2}$ Meilen im Mittage innerhalb der Atmosphäre zurücklegen, so legen sie im tiefsten Winter den dreimal gröfsern Weg $B\beta$ im Mittage und bei dem Auf- und Untergange den nahe 13mal gröfsern Weg $B\alpha$ zurück und werden daher in ihrer Intensität durch die Atmosphäre immer mehr geschwächt. Dazu kommt noch, dafs die nähern Schichten bei der Erde die bei weitem dichtern sind und die Strahlen der Sonne noch mehr schwächen, und für diese untersten Schichten ist der Weg Bm der Strahlen Morgens und Abends noch viel gröfser, als am Mittage, wo er nur nahe gleich Bn ist.

Endlich fallen aber auch, und dieses ist eine der vorzüg-

lichsten Ursachen der Verschiedenheit der Temperatur der Jahreszeiten, die Sonnenstrahlen im Winter viel schiefer oder unter einem viel kleinern Winkel mit dem Horizonte auf die Erde, als im Sommer. Sey TA ein Punct, z. B. ein Quadratfuſs der Oberfläche der Erde. Im tiefsten Winter fallen die Strahlen der Sonne unter dem Winkel $BAD = \beta TD$ und im Sommer unter $CAD = \gamma TD$ auf diesen Theil der Erdfläche. Zieht man von dem Durchschnittspuncte O dieser beiden Richtungen die Lothe OM auf AB und ON auf $T\gamma$, so verhält sich die Menge der auf die Fläche AT fallenden Strahlen Fig. 331.

$$\frac{\text{im Winter}}{\text{im Sommer}} = \frac{OM}{ON} = \frac{100}{289},$$

also ist die Anzahl oder die Dichte der Strahlen, die auf dieselbe Fläche fallen, im Sommer nahe dreimal gröfser als im Winter. Lambert, der alle diese Ursachen der Temperaturverschiedenheit im Zusammenhange betrachtete, fand für verschiedene Sonnenhöhen die Intensität der Beleuchtung so, wie sie die folgende Tafel angiebt.

Sonnenhöhe	Beleuchtung
90°	589
80	575
70	535
60	470
50	384
40	282
30	173
20	73
10	8

Aus dieser Tafel folgt, dafs sich die Menge der Strahlen in der Sonnenwende des Winters zu der in der Sonnenwende des Sommers wie 68 zu 503 oder wie 1 zu 7 verhalte.

Man setzt bekanntlich bei der Erde eine sehr hohe Temperatur um die Nähe ihres Mittelpuncts voraus und hat mehrere triftige Gründe für diese Annahme. Allein die Behauptung, dafs diese innere Centralwärme der Erde auch auf die Oberfläche derselben eine bemerkbare Wirkung äufsere, kann durch nichts erwiesen werden. Jene Centralwärme hat sich seit einer Reihe von vielleicht vielen Jahrtausenden bereits

Digitized by Google

so sehr gegen den Mittelpunct der Erde zurückgezogen, dafs sie jetzt die mittlere Temperatur der Oberfläche kaum um den fünften Theil eines Grades des Reaum. Thermometers zu erhöhen im Stande ist. Die gänzliche Verschwindung jenes Centralfeuers, welche die Folge der Zeiten einmal herbeiführen mufs, wird daher auch nicht, wie viele geglaubt haben, vermögen, die jetzt auf der Erde lebenden organischen Wesen zu vernichten, so lange nur diejenige Wärme, welche die Sonne auf der Oberfläche der Erde erzeugt, nicht bedeutend vermindert wird. Nach Fourier's schönen und sinnreichen Untersuchungen ist diese Wirkung der Sonnenstrahlen auf die Erde eine doppelte; die eine ist periodisch und äufsert sich blofs an der Oberfläche der Erde, die andere aber ist constant und wird erst in einer Tiefe von etwa 100 Fufs unter dieser Oberfläche fühlbar, während die Wirkung von jener, mit ihren täglichen und jährlichen Perioden, schon in der Tiefe von 30 bis 40 Fufs aufhört. Die Gröfse der jährlichen Variationen, d. h. die Differenz zwischen der höchsten und niedrigsten Temperatur, wird immer kleiner, je tiefer man geht, und die mittlere Temperatur eines jeden Orts auf und unter der Oberfläche der Erde ist eine constante Gröfse für denselben Ort, nimmt aber, bei derselben Tiefe, vom Aequator gegen die Pole ab.

Aber die Erscheinung, dafs in gröfsern Tiefen die Temperatur der Erde für je 20 Toisen Annäherung zum Mittelpuncte der Erde um nahe einen Grad Reaum. zunimmt, kann nicht mehr von der Wirkung der Sonne kommen, wie einige geglaubt haben, die sich die in die Erde gedrungenen Sonnenstrahlen seit Jahrtausenden daselbst anhäufen lassen wollten. Die Ursache dieser Erscheinung mufs vielmehr im Innern der Erde selbst und zwar in einer Tiefe derselben gesucht werden, bis wohin unsere Beobachtungen bisher nicht vordringen konnten, und höchst wahrscheinlich sind die den Mittelpunct der Erde zunächst umgebenden Theile derselben in einer so hohen Temperatur, die selbst jene im Brennpuncte unserer Hohlspiegel noch sehr weit hinter sich zurückläfst.

Wenn die Erde sich in einem Kreise um die im Mittelpuncte dieses Kreises stehende Sonne bewegte und daher immer dieselbe Entfernung von ihr hätte, so würde sie auch stets von der Sonne gleich stark erwärmt werden. Allein jenes ist nicht

der Fall und daher, sollte man glauben, auch dieses nicht. Wenn die nördliche Hemisphäre der Erde ihren Sommer hat, so ist der Mittelpunct der Erde bekanntlich gegen 700000 Meilen weiter von der Sonne entfernt, als im Winter. Dadurch sollten also unsere Sommer kühler und unsere Winter wärmer werden, als bei einer kreisförmigen Erdbahn der Fall wäre. Das Gegentheil müfste in der südlichen Hemisphäre statt haben, da diese ihren Sommer in der gröfsten Nähe der Sonne hat, wodurch daher die Wärme desselben erhöht und ebenso die Kälte ihres Winters verstärkt werden sollte.

Allein diese Sache verhält sich ganz anders. Da die Wärme wie das Licht von der Sonne nach allen Seiten in divergirenden Radien ausgeht und nach und nach die Oberflächen immer gröfserer Kugeln bedeckt, so mufs sie auch verkehrt wie das Quadrat der Entfernung von der Sonne abnehmen. Wir haben aber bereits oben gesehn, dafs die Winkelgeschwindigkeit der Erde um die Sonne genau in ebendemselben Verhältnisse variirt, woraus also folgt, dafs der Zuwachs an Hitze, welche die Erde von der Sonne erhält, sich wie der Winkel verhält, den die Erde um die Sonne beschreibt, und dafs daher für jede Entfernung der Erde jener Wärmezuwachs für gleiche Winkel auch überall derselbe ist. Sey S die Sonne und AMN die Erdbahn, AP die grofse Axe derselben und A das Aphelium, P das Perihelium der Erde. Die Linie S0 ist nach dem Frühlingspuncte 0 gerichtet, von welchem man die Längen am Himmel zu zählen anfängt, und die Linie 90.S.270 ist darauf senkrecht, also S.90 die Länge des Sommersolstitiums, S.180 die des Herbstpuncts und S.270 die des Wintersolstitiums. Diese Zeichnung giebt die gegenwärtige Lage der Erdbahn gegen die vier Hauptgegenden des Himmels für den Anfang dieses Jahrhunderts, wo der Winkel PS.90 des Periheliums P mit dem Sommersolstitium 9° 36′ beträgt. Die Erde ist in ihrer Bahn im Anfange des Frühlings am 21. März in a, im Anfange des Sommers am 21. Juni in b, im Anfange des Herbstes und Winters oder am 23. Sept. und 21. December in c und d. Wird die Ebene des Aequators durch die des Papiers vorgestellt, so wird sie von der Ebene der Erdbahn in der Nachtgleichenlinie ac geschnitten, so dafs der Theil adc der Erdbahn um 23° 28′ über und der andere Theil abc ebenso viel unter der Ebene des Papiers

Fig. 332.

geneigt ist. In jenem obern Theile adc, in welchem auch das Perihelium P der Erdbahn liegt, befindet sich also die Erde zur Zeit unseres Winters, d. h. während wir in der nördlichen Hemisphäre Herbst und Winter haben, oder während der Monate October und November bis zum März, und in dem andern Theile abc befindet sich die Erde vom März bis zu Ende des Septembers. Die Erde ist daher während unserer Sommer weiter von der Sonne entfernt als im Winter. Da nun die Bewegung der Erde im Perihelium P am schnellsten und im Aphelium A am langsamsten ist und da auch der Bogen cda beträchtlich kleiner ist, als der Bogen abc, so ist klar, dafs jetzt unser Frühling und Sommer zusammengenommen etwas länger dauern, als Herbst und Winter. Der Unterschied beträgt nahe acht Tage. Nämlich unser Frühling dauert in dem gegenwärtigen Jahrhundert 92,9, der Sommer aber 93,6, der Herbst 89,7 und der Winter endlich 89,1 Tage.

Wenn man nun durch irgend eine gerade durch die Sonne S gehende Linie MSN die Oberfläche der Erdbahn in zwei Theile MPN und MAN theilt, so wird, der vorhergehenden Bemerkung gemäfs, der Zuwachs an Wärme, welchen die Erde in jedem dieser zwei Theile ihrer Bahn von der Sonne erhält, immer derselbe seyn, wenn auch diese Theile selbst oder die Bogen MPN und MAN noch so ungleich seyn sollten, da doch die Winkel, welche die Erde um die Sonne in beiden Fällen beschrieben hat, einander gleich, nämlich jeder gleich 180 Graden sind und da, wie wir gesehn haben, der Zuwachs der Wärme diesen Winkeln gleich ist. Diese Bogen werden zwar in ungleichen Zeiten von der Erde zurückgelegt werden, der erste MPN, in welchem das Perihelium liegt, in einer kürzern und der zweite MAN, in welchem das Aphelium ist, in einer längern Zeit, aber die gröfsere Nähe der Sonne in dem erstern oder kürzern Bogen wird jenen Mangel der hier ebenfalls kürzern Zeit genau wieder ersetzen, und ebenso wird in den längern Bogen die gröfsere Entfernung der Sonne wieder durch die längere Zeit ihrer Wirkung vollkommen ersetzt.

Würde die radiirende Wärme der Sonne sich nach einem andern Gesetze ausbreiten, als das ist, nach welchem die Winkelgeschwindigkeit der Erde wächst, so würde jenes Gleichgewicht der Temperatur für alle Puncte der Erdbahn nicht

Digitized by Google

mehr statt haben und die Excentricität dieser Bahn würde einen sehr merklichen Einfluſs auf unsere Jahreszeiten haben. Diese Excentricität beträgt 0,017 der halben groſsen Axe. Die Differenzen der Abstände der Erde von der Sonne können daher auf das Doppelte dieser Gröſse oder auf nahe $\frac{1}{30}$ der mittlern Entfernung der Erde von der Sonne steigen. In der kleinsten Entfernung ist der Zuwachs der Hitze gleich $\frac{1}{(1-\varepsilon)^2}$ und in der gröſsten Entfernung gleich $\frac{1}{(1+\varepsilon)^2}$, wenn $\varepsilon = 0{,}017$ die Excentricität der Erdbahn bezeichnet. Die erste dieser Gröſsen ist, wenn man die höhern Potenzen von ε vernachlässigt, $1+2\varepsilon$ und die zweite $1-2\varepsilon$, also würde auch die gröſste Differenz in der erwärmenden Kraft der Sonne $(1+2\varepsilon)-(1-2\varepsilon)$ oder gleich $4\varepsilon = 0{,}068$ oder nahe $\frac{1}{15}$ des Ganzen seyn, und ein so groſser Unterschied würde daher gegenwärtig die Sommer unserer nördlichen Halbkugel sehr merklich kühler und dafür unsere Winter bedeutend wärmer machen und in diesen beiden Jahreszeiten auf der südlichen Hemisphäre das Gegentheil hervorbringen. Allein das erwähnte Gesetz hebt diesen Unterschied für die ganze Erde völlig auf und beide Halbkugeln genieſsen eine völlig gleichmäſsige Vertheilung des Lichts und der Wärme in allen Jahreszeiten.

Bemerken wir nur noch, daſs die in der Zeichnung für das gegenwärtige Jahrhundert angegebene Lage der Erdbahn nicht immer dieselbe ist. Die Länge des Periheliums der Erdbahn oder der Winkel 0SP wächst nämlich in jedem Jahrhundert nahe um 19,7 Minuten. Jetzt fällt das Perihelium fast auf den Punct des Himmels, wo das Wintersolstitium der nördlichen Halbkugel statt hat, oder der Winkel PS.90° ist nur klein. Rechnet man aber mit jener secularen Bewegung von 19,7 Min. vor und rückwärts, so findet man, daſs gegen das Jahr 4000 vor Ch. G. das Perihelium in die Linie S0 fiel, daſs also die Länge des Perihels damals gleich Null war, während sie jetzt 99° 36′ beträgt. Es ist auffallend, daſs die meisten unserer Chronologen die Zeit der Entstehung der Erde nahe in dieselbe Epoche gesetzt haben. Zur Zeit 1250 nach Ch. G., zur Zeit Friedrich's II. und Ludwig's IX., betrug diese Länge genau 90° oder das Perihelium lag in der Linie Sd und im Jahre 6470 nach Ch. wird sie 180° betra-

Digitized by Google

gen oder dann wird das Perihel in die Linie Sa, das heifst, es wird mit dem Herbstpuncte zusammen fallen.

H. Aenderung der Elemente der Erd- oder Sonnenbahn.

So wie nach dem Vorhergehenden die grofse Axe der Erdbahn in ihrer Lage am Himmel veränderlich ist, ebenso verändert sich auch die Excentricität dieser Bahn. Sie betrug im Anfange des gegenwärtigen Jahrhunderts 0,01679, wenn die halbe grofse Axe der Bahn als Einheit vorausgesetzt wird, und sie nimmt in jedem Jahrhunderte um 0,0000416 ab, so dafs sie also zur Zeit der Geburt Christi nahe gleich 0,01754 gewesen ist. Die Theorie zeigt, dafs diese Abnahme nicht immer mit der Zeit fortschreitet, sondern dafs sie einmal in eine Zunahme übergehn wird, dafs überhaupt die Excentricität der Bahn der Erde und aller übrigen Planeten gleich einem Pendel zwischen sehr kleinen Grenzen auf und nieder geht oder dafs die Erdbahn wie jetzt sich einem Kreise nähert und später sich wieder von der vollkommen runden Gestalt eines Kreises bis zu einer bestimmten Grenze entfernen wird. Die Ursache dieser sonderbaren Erscheinung wird in der Anziehung der andern Planeten auf die Erde oder in den sogenannten Perturbationen gefunden, welche die Erde von den übrigen Planeten erleidet. Diese Anziehungen hängen vorzüglich von den *Massen* der Planeten ab, die wir aber jetzt noch nicht mit derjenigen Schärfe kennen, die nothwendig ist, um so weit entfernte Epochen vor- und rückwärts der Gegenwart mit Sicherheit berechnen zu können. Legt man die jetzt als wahrscheinlich angenommenen Massen zu Grunde, so findet man durch diese Rechnungen, dafs die Excentricität der Erdbahn im Jahre 8400 vor Christo ihren gröfsten Werth hatte und gleich 0,019 war, während sie ihren kleinsten Werth im Jahre 23300 nach Ch. haben und dann gleich 0,005 seyn wird.

Auch die Neigung der Erdbahn gegen den Aequator ist veränderlich, so wie die Linie, in welcher sich diese beiden Ebenen durchschneiden. Jene Neigung heifst bekanntlich die *Schiefe der Ekliptik* und dieser Durchschnitt heifst die *Aequinoctiallinie*. Ueber die Veränderungen, welche diese beiden Gröfsen erleiden, wird im Artikel *Vorrücken der Nachtgleichen* gehandelt werden.

Bemerken wir noch, dafs bei der Erde sowohl als auch bei allen Planeten die Lage der grofsen Axe zwar veränderlich ist, dafs aber die Gröfse derselben constant und zu allen Zeiten dieselbe bleibt. Von allen den sogenannten *Elementen einer Bahn*, d. h. von allen denjenigen Dingen, welche eine Bahn eigentlich charakterisiren und sie wesentlich von allen andern unterscheiden, sind die grofsen Axen die einzigen unveränderlichen, während alle andere beständigen Variationen unterworfen sind, eine Einrichtung unsers Sonnensystems, die uns auf eine, wenn nicht immerwährende, doch gewifs auf eine äufserst lange *Dauer* desselben schliefsen läfst, die daher in die erste Anlage zu diesem Systeme mit Absicht gelegt worden zu seyn scheint. Man sieht schon ohne weitere Erläuterung, dafs die geringste Verkürzung dieser Axen nothwendig mit der Zeit fortgehn und nicht periodisch ab- und zunehmen könnte, dafs also auch die Folge einer solchen Verkürzung eine immerwährende Annäherung der Planeten zur Sonne und endlich ein Herabstürzen auf dieselbe seyn müfste, so wie im Gegentheil jede Vergröfserung dieser Axen die Planeten immer weiter von der Sonne weg und endlich in die Attractionssphäre anderer Fixsterne führen würde, und dafs daher bei keiner dieser Voraussetzungen die Dauer dieses Sonnensystems bestehen könnte.

I. Bewegungen der Sonne.

Wir haben bisher die Sonne in dem Brennpuncte der Planetenbahnen ruhend angenommen, obschon wir sie täglich von Ost gen West und jährlich von West gen Ost um uns gehn sehn. Allein es ist jetzt allgemein bekannt, dafs diese Bewegungen nur scheinbar sind und dafs die erste von der täglichen Rotation der Erde um ihre Axe und die zweite von der jährlichen Bewegung der Erde in ihrer Bahn (der Ekliptik) um die Sonne komme, welche beide Bewegungen von West gen Ost statt haben.

Diesem gemäfs könnte man also die Sonne in der That als in einer absoluten Ruhe am Himmel stehend annehmen. Allein eine nähere Betrachtung des Gegenstandes zeigt uns bald, dafs diese Voraussetzung nicht statt haben kann.

Die Planeten bewegen sich um die Sonne, weil sie von der Masse der Sonne angezogen werden. Allein auch die Planeten haben als Körper eine Masse und sie werden daher

Digitized by Google

auch wieder die Sonne anziehn. Diefs wird zur Folge haben, dafs auch der Mittelpunct der Sonne in Bewegung gesetzt wird und dafs eigentlich beide Körper, die Sonne und der Planet, um den diesem Körperpaare gemeinschaftlichen Schwerpunct, nach dem bekannten Keppler'schen Gesetze, eine Ellipse beschreiben werden. Allein die Masse der Sonne ist, wie wir oben gesehn haben, gegen 800mal gröfser als die Masse aller Planeten zusammengenommen, und dieses wird zur Folge haben, dafs der Schwerpunct des ganzen Systems ganz ungemein nahe zur Sonne und beinahe in ihren Mittelpunct fällt, so dafs also, während die Planeten wegen der Anziehung der Sonne in so weiten Bahnen um dieselben laufen, die Sonne selbst sich nur um einen Punct in ihrem Innern, der ihrem Mittelpuncte sehr nahe ist, und daher so wenig bewegt, dafs wir mit unsern besten Fernröhren diese Ortsveränderungen der Sonne nicht mehr bestimmen können und auch in der That, selbst wenn sie gröfser wären, nicht zu bestimmen brauchten, da wir nicht die absoluten Bewegungen der Planeten im Weltraume, sondern nur ihre relativen Bewegungen gegen die Sonne als gegen ihren Centralkörper zu kennen brauchen.

Allein aufser dieser sehr kleinen und für uns ganz unbeträchtlichen Bewegung mufs die Sonne noch eine, ja eigentlich zwei Bewegungen haben, die grofs genug sind, um von uns bemerkt werden zu können. Aus der Beobachtung der Sonnenflecken hat man gefunden, dafs die Sonne sich von West gen Ost in nahe 25 Tagen um ihre Axe dreht. Da die Existenz dieser drehenden Bewegung der Sonne um ihre Axe aufser Zweifel gesetzt ist, so kann auch eine im Raume fortschreitende Bewegung ihres Mittelpunctes nicht weiter bezweifelt werden. Die Ursache jener drehenden Bewegung der Sonne kann nur in einem Stofse oder, was dasselbe ist, in einer von aufsen auf die Sonne wirkenden Anziehung gesucht werden, deren Richtung nicht durch den Mittelpunct der Sonne ging. Ein solcher Stofs, eine solche Anziehung aber mufs nothwendig auch auf den Mittelpunct der Sonne, da dieser im Raume nicht befestigt ist, gewirkt und demselben eine Bewegung gegeben haben, so dafs also aus der Rotation der Sonne um ihre Axe auch sofort eine fortschreitende Bewegung der ganzen Sonne im Weltraume folgt, bei welcher sie daher das ganze

Digitized by

Heer der Planeten und Kometen, welches sie umgiebt, mit sich fortziehn wird, so dafs, so langsam diese Bewegung auch vielleicht seyn mag, unser Planetensystem am Ende von mehrern Jahrtausenden sich an einem ganz andern Orte des Himmelsraumes befinden wird, als gegenwärtig. Die Astronomen haben sich seit längerer Zeit sehr bemüht, die Gröfse sowohl als auch die Richtung dieser fortschreitenden Bewegung der Sonne und ihres ganzen Systems näher zu bestimmen, allein sie sind bisher noch zu keinem genügenden Resultate gelangt. Wenn wir uns sammt der Sonne und allen Planeten in der That gegen die Mitte des Sternbildes des Hercules und zwar gegen den Stern ζ dieses Bildes hinbewegen sollten, wie der ältere Herschel aus seinen Beobachtungen zu schliefsen sich für berechtigt hielt, so müfsten uns offenbar die Fixsterne in dieser Gegend des Himmels, denen wir sonach immer näher kommen, auch stets weiter von einander zu treten scheinen, während im Gegentheile die auf der entgegengesetzten Seite des Himmels, bei v Eridanus, mit der Zeit sich immer mehr nähern müfsten. Auch glaubte Herschel in der That zu bemerken, dafs die sogenannten *eignen Bewegungen* der Fixsterne (kleine Ortsveränderungen, die man an jedem dieser Sterne selbst dann noch bemerkt, wenn man die bekannten und blofs scheinbaren Bewegungen der Präcession, Aberration und Nutation schon berücksichtigt hat) im Allgemeinen eine solche Richtung haben, die seiner Voraussetzung einer Bewegung des Sonnensystems gegen jenen Punct des Himmels günstig ist. Allein die andern Astronomen haben diese Hypothese nicht bestätigt gefunden. Jene eigne Bewegung der Fixsterne, die bei dieser Hypothese als eine scheinbare, als eine blofse optische Folge der Bewegung unsers Systems vorausgesetzt wird, ist vielleicht aus dieser scheinbaren und aus einer wahren eignen Bewegung zusammengesetzt, welche letztere den Fixsternen eigenthümlich und bei jedem eine andere ist. In der That, wenn unsere Sonne, die doch auch nur ein Fixstern ist, eine solche ihr eigenthümliche Bewegung hat, so müssen wir dieselbe auch bei jedem andern Fixsterne wenigstens als möglich voraussetzen, und welches Mittel bleibt uns dann, diese eigne Bewegung eines jeden einzelnen Fixsterns von seiner blofs scheinbaren Ortsveränderung zu trennen und die Gröfse und Richtung beider abgesondert zu bestimmen? In unsern Zeiten wenigstens scheint die Astronomie noch nicht

zu der Reife gelangt zu seyn, die erfordert wird, eine Frage dieser Art genügend zu beantworten. Vielleicht dafs die Folge künftiger Jahrhunderte uns dieses und noch so manches andere Räthsel lösen und uns über die wahre Bewegung unseres Sonnensystems im Weltenraume näher belehren wird.

Noch ist die Sonne mit einer andern luftförmigen Hülle umgeben, die man am deutlichsten zur Zeit der beiden Nachtgleichen kurz vor dem Aufgange und bald nach dem Untergange der Sonne zu sehn pflegt und über welche man den Artikel *Zodiakallicht* nachsehn kann.

L.

Sonnenferne s. Sonnennähe.

Sonnenflecken.

Maculae Solares; Taches du Soleil; *Solar Spots.*

Wenn man die Sonne durch ein Fernrohr betrachtet, das zum Schutze des Auges mit einem gefärbten oder beräucherten Planglase versehn ist, so bemerkt man auf der Oberfläche derselben häufig gröfsere oder kleinere, meistens sehr unregelmäfsige dunkelschwarze Flecken, die ringsum mit einem aschgrauen, gewöhnlich überall gleich breiten Rande eingefafst erscheinen.

Die erste Erwähnung der Sonnenflecken findet man in einem ungenannten Annalisten[1] des achten Jahrhunderts nach Chr., welcher unter dem Jahre 807 erzählt, dafs man am XVI. *Kalend. Aprilis* (17. März) den Planeten Mercur als einen kleinen schwarzen Flecken in der Sonne durch volle acht Tage gesehn habe. Da es unmöglich ist, den Mercur mit bloſsen Augen und durch volle acht Tage in der Sonne zu sehn und da auch unsre besten Tafeln für jenen Tag keinen Durchgang des Mercurs geben, so konnte dieses wohl nur ein grofser Flecken gewesen seyn. Auf eine ähnliche Weise müfste man eine ähnliche, noch frühere Erscheinung erklären, wenn man die Erzählung derselben als der Wahrheit gemäfs voraussetzt. Der arabische Geschichtschreiber Albufaradge[2] sagt, dafs im

1 Astronomi anonymi Annales Caroli M. In Reuberi Collect. script. rer. germ. p. 27.

2 Historia Dynast. p. 94.

Digitized by Google

Jahre 555 die Sonne durch 14 Tage in ihrem Lichte beträchtlich verdunkelt war und dafs im Jahre 626 vom October bis zum Juni des folgenden Jahrs die Hälfte der Sonne schwarz erschienen sey. Joseph von Costa[1] erzählt, dafs die Peruaner die Sonnenflecken schon lange gekannt haben, ehe sie von den Europäern gesehn wurden. Auch in den Alten findet man mehrere hierher gehörende Stellen im Plinius, Virgil, Plutarch u. a. Jene Erscheinungen würden sich dann auf sehr grofse und häufige Sonnenflecken beziehn, die zugleich erschienen wären. In der That sieht man sie gewöhnlich in grofser Anzahl und gleichsam periodisch kommen, während wieder zu andern Zeiten die Sonne lange von ihnen frei bleibt. Zuweilen, obwohl selten, sind diese Flecken so grofs, dafs man sie durch ein gefärbtes Glas ohne Fernrohr sehn kann, wie dieses der Fall am 15. April 1764 mit einem Flecken war, den Darquier in Toulouse so vielen neugierigen Gästen blofs durch ein beräuchertes Planglas sehn liefs.

In die Ehre der eigentlichen Entdeckung und Anerkennung der Sonnenflecken scheinen sich die Engländer Harriot und Johann Fabricius zu theilen. Zach[2] fand in den hinterlassenen Papieren Harriot's Beobachtungen von Sonnenflecken, die mit dem 8. December 1610 anfingen. Allein diese Beobachtungen blieben, wenigstens auf dem Festlande Europa's, lange unbekannt. Johann Fabricius, der auch Frisius genannt wird, weil er ein Friesländer war, gab das erste Werk über diesen Gegenstand heraus[3]. Da jener nicht nur diese Flecken als solche erkannte, sondern auch ihr Fortrücken auf der Sonnenscheibe beobachtete und daraus den Schlufs auf die Rotation der Sonne zog, so wird er als der eigentliche Entdecker dieser Flecken angesehn. Er bemerkte auch schon die Veränderlichkeit ihrer Gestalt und dafs sie zuweilen in der Mitte der Sonnenscheibe an Gröfse abnehmen und auch gänzlich verschwinden.

Christoph Schriner, ein Jesuit aus Schwaben, wollte

1 Histoire des Indes.

2 Berliner Ephem. 1788. S. 154.

3 De maculis in sole observatis. Wittenb. 1611. mit einer Zueignung vom 13. Juni desselben Jahres. Der Vater des Verfassers, David Fabricius, ein friesländischer Geistlicher zu Ostell, entdeckte den berühmten veränderlichen Stern Mira ceti im Jahre 1596.

diese Entdeckuug für sich vindiciren. In seinem Werke, *Rosa Ursina*, das aber erst im Jahre 1630 erschien, behauptete er, diese Flecken schon im März 1611 gesehn und seinen Freunden gezeigt zu haben. An der Mittheilung seiner Entdeckung sey er durch seinen Provinzial Busaeus gehindert worden, der diese Flecken in der Sonne, dem Sinnbilde der höchsten Reinheit, für unmöglich und auch im Widerspruche mit der ganzen aristotelischen Philosophie erklärte. Auch kam jenes Werk nur unter dem falschen Namen *Apelles post tabulam* und nicht durch Scheiner selbst, sondern durch seinen Freund, den Bürgermeister Welser in Augsburg, heraus, der auch die Briefe Scheiner's vom Jahre 1612 über diesen Gegenstand mittheilte. Dem Scheiner gebührt indefs die Ehre, diese Flecken mit fortgesetztem Fleifse 19 Jahre hindurch beobachtet und die Theorie ihrer Bewegungen richtig aufgefafst zu haben. Galilei lobte ihn früher wegen seines seltenen Talents und Hevel nennt ihn einen Mann von unvergleichlicher allseitiger Gelehrsamkeit und der in dieser Sache allen andern die Palme entrissen habe.

Galilei sagt[1], dafs er diese Flecken mit seinem Fernrohre im Monat April 1611 mehrern Freunden im Garten des Cardinals Bandini gezeigt und dafs er sie zuerst im Anfange dieses Jahres 1611 gesehn habe. Scheiner's erste Beobachtungen sind vom October dieses Jahres. Galilei hatte gleich anfangs sehr richtige Ideen von der Natur dieser Flecken, während Scheiner die seinigen erst später, wie es scheint, nach den Belehrungen Galilei's, berichtigte. Zwischen beiden entstand bald ein heftiger Streit über die Priorität der Entdeckung, der vom Jahre 1611 bis 1632, also volle 21 Jahre, währte. Aber schon Keppler war der Ansicht, dafs weder Galilei, noch Scheiner, sondern dafs J. Fabricius der wahre Entdecker der Sonnenflecken sey und diese Meinung ist auch noch jetzt die allgemein angenommene.

In dem ersten Jahrhundert nach ihrer Entdeckung beschäftigten sich die Astronomen sehr fleifsig mit der Beobachtung derselben. Hevelke gab in seiner Selenographie eine grofse Anzahl solcher Beobachtungen. Dominicus Cassini verfolgte sie sehr eifrig und ungefähr um dieselben Jahre (1670

1 Istoria e dimostr. intorno alle macchie solari. Rom. 1613.

Digitized by Google

bis 1680) auch Picard und La Hire[1]. Wenn man diese Beobachtungen überblickt, so findet man, was oben von der Periodicität dieser Flecken gesagt worden ist, auffallend bestätigt. Um die Zeit ihrer Entdeckung im Jahre 1611 waren sie sehr zahlreich und man fand fast immer zerstreute Flecken auf der Sonne. Scheiner zählte ihrer oft bis 50 an einem einzigen Tage. Um die Zeit von 1650 bis 1670 wurden sie im Gegentheile äufserst selten und nur zuweilen fand man einen oder zwei kleine Flecken. Auch von 1676 bis 1684 konnte Flamstead keine sehn; aber in den Jahren 1700 bis 1710 waren sie wieder sehr zahlreich, in den Jahren 1711 und 1712 erschienen keine, aber in den Jahren 1716 bis 1720 waren sie wieder sehr zahlreich. In den letzten Zeiten hat blofs Messier sich anhaltend mit der Beobachtung der Sonnenflecken beschäftigt. Dafür haben wir desto mehr Methoden, diese Beobachtungen zu berechnen, erhalten, von Euler, Kaestner, Boscovich, Cagnoli, Silvabelle, Dusèjour, Lagrange, Lalande, Delambre u. s. w. Diese Methoden sind oft bis zum Ueberflusse künstlich und umständlich, da sich doch der Gegenstand auf einige sehr einfache Betrachtungen zurückführen läfst. Von dem weitern Beobachten dieser Flecken wurden die Astronomen durch die geringe Uebereinstimmung derselben abgehalten und diese liegt zum Theil in der Schwierigkeit der Beobachtung überhaupt, vorzüglich aber in der Natur der Flecken selbst, die nicht nur ihre Gestalt, sondern häufig auch ihren Ort auf der Oberfläche der Sonne zu ändern scheinen und daher dem Beobachter keinen fixen Anhaltpunct darbieten. Den letzten Versuch im Grofsen, diesen Gegenstand ins Reine zu bringen, hat in unsern Jahren Mosotti gemacht. Er hat seine Resultate in den Mailändischen Ephemeriden mitgetheilt, ohne eben, wie es scheint, die Sache selbst sehr dadurch gefördert zu haben. Les observations, sagt Delambre[2], sont un peu négligées aujourd'hui par les astronomes, qui ont senti la difficulté d'ajouter aux connaissances acquises, quoique ces connaissances soient assez imparfaites. Man wird mit ihm ohne Zweifel übereinstimmen, ohne defshalb auch anzunehmen, was er weiter sagt, dafs diese

1 S. Mém. de l'Acad. de Paris. 1670 bis 1680.

2 Astronomie théorique et pratique Chap. XXIX.

Beobachtungen plus curieuses que vraiment utiles seyen und dafs sie nur verdienen, dafs ein Astronom höchstens einmal in seinem Leben an sie denke, um sie dann für immer zu vernachlässigen. Da aber diese Beobachtungen das einzige Mittel geben, die Lage des Sonnenäquators zu bestimmen, und da die Kenntnifs dieser Ebene in der Astronomie von sehr grofser Wichtigkeit ist, so sollten sie, wie uns dünkt, nicht gleichsam absichtlich vernachlässigt werden.

Die Flecken sind zuweilen sehr grofs. Eine gerade Linie auf der Oberfläche der Sonne von hundert geogr. Meilen Länge würde, wenn sie senkrecht auf unserer Gesichtslinie steht, dem Beobachter auf der Erde unter dem Winkel von einer Secunde erscheinen und ein Kreis von diesem Durchmesser auf der Oberfläche der Sonne würde 31400 geogr. Quadratmeilen haben. Nun sah Tob. Mayer im Jahre 1758 einen solchen Flecken auf der Sonne, der 90 Secunden im Durchmesser hatte, dessen wahrer Durchmesser also fünfmal gröfser war, als der unsrer Erde. Der ältere Herschel sah im Jahre 1779 einen oder vielmehr einige eng zusammenhängende Flecken und der Durchmesser dieser Gruppe betrug 270 Secunden, also 15mal den Durchmesser der Erde. Es wurde bereits bemerkt, dafs manche dieser Flecken, wenn sie mitten in der Sonnenscheibe stehn, sich zusammenziehn und allmälig verschwinden. Nehmen wir an, dafs der zuletzt erwähnte zu seiner Verschwindung volle drei Wochen gebraucht habe, so mufsten die entgegengesetzten Ränder desselben bei ihrer Zusammenziehung täglich einen Weg von 1400 und daher in jeder Stunde einen Weg von 58 Meilen zurücklegen, also die Geschwindigkeit unserer heftigsten Stürme mehr als achtmal übertreffen. Man sieht schon daraus, welche grofse Revolutionen auf der Oberfläche der Sonne vorgehn mögen, mit denen unsere Stürme und Ungewitter nicht weiter verglichen werden können.

Der aschgraue Rand, der diese dunkelschwarzen Flecken immer umgiebt, ist bereits oben angeführt worden. Ebenso bemerkenswerth ist aber auch, dafs gewöhnlich in der Nähe dieser Flecken andere Stellen der Sonne angetroffen werden, die sich vor dem übrigen lichten Grunde derselben durch ihr helles, blendendes Licht auszeichnen und die daher *Sonnenfackeln* genannt werden. Das stete Beieinanderseyn der Flecken

und Fackeln deutet offenbar auf einen gemeinsamen Ursprung derselben. Oft sieht man auch aus der Mitte dieser Fackeln jene ganz schwarzen Flecken hervorbrechen oder umgekehrt an den Stellen, wo eben ein Flecken verschwunden ist, eine Fackel entstehn.

Alle diese Flecken scheinen in einer Zone eingeschlossen, die sich zu beiden Seiten des Sonnenäquators bis auf etwa 30 Grade erstreckt. In gröfsern Entfernungen vom Aequator hat man noch wenige oder keine Flecken gesehn.

Endlich erscheinen sie alle, selbst die von einer beträchtlichen Breite, sehr schmal und am Ende nur wie eine schwarze Linie, wenn sie ganz nahe an den Rand der Sonne kommen, so wie sie im Gegentheile immer breiter werden, je weiter sie sich vom Sonnenrande entfernen.

Man hat diese Flecken anfangs häufig für eigne dunkle Himmelskörper gehalten, welche sich, gleich den Planeten, um die Sonne, nur in einer gröfsern Nähe, bewegen. Allein die letzterwähnte Bemerkung, dafs ihre Breite mit der Annäherung zum Sonnenrande immer kleiner werde, steht mit dieser Annahme in directem Widerspruche; auch würde man sich dann nicht erklären können, warum diese Flecken so oft durch längere Zeit unsichtbar sind, warum sie oft mitten auf der Sonnenscheibe ihre Gestalt verändern und warum sie endlich alle sehr nahe in derselben Zeit um die Sonne laufen, da sie doch nicht leicht alle dieselbe Entfernung von ihr haben können. Andere hielten diese Flecken für Auswürfe der Sonnenvulcane, gleichsam für die Schlacken derselben, die auf der Oberfläche des Lichtmeers der Sonne schwimmen sollten. Galilei, dem vorzüglich ihre Veränderlichkeit auffiel, hielt sie für dunkle Wolken, die in der lichten Atmosphäre der Sonne von Winden und Stürmen hin und her bewegt werden. Allein dazu ist ihre Beweglichkeit zu gering und ihr Gang über die Fläche der Sonne zu regelmäfsig. Gewifs ist, dafs sie der Oberfläche der Sonne selbst zugehören und mit derselben gleichsam einen integrirenden Theil derselben ausmachen, wie auch schon derselbe Galilei erkannte. Höchst wahrscheinlich sind sie Theile des finstern oder doch wenigstens vergleichungsweise finstern Kerns oder des eigentlichen Körpers der Sonne, welche Theile zuweilen

durch die aufserordentlichen Fluctuationen, die in dem Lichtmeere der Sonne vor sich gehn, unsern Augen blofs gelegt werden. Auf welche Weise aber diese Oeffnungen in der Photosphäre der Sonne entstehn und in welcher Tiefe jene dunklen Flecken unter dem Niveau jenes Lichtmeeres stehn, darüber hat man sich bisher noch nicht vereinigen können. La Hire[1] glaubt, dafs diese Flecken die Spitzen der Sonnenberge wären, die zuweilen über das Lichtmeer, wenn dieses in einer Art von Ebbe begriffen ist, hervorragen und dann wieder, zur Zeit der Fluth, von ihm bedeckt werden. Er setzt dabei voraus, dafs der eigentliche Körper der Sonne, also auch diese Berge an sich dunkel sind. Er meint, dafs sich dadurch auch die aschgraue Einfassung der Flecken, die wir bereits oben erwähnt haben, sehr gut erklären lasse. Die höchsten Gipfel jener Berge, die völlig über dem Lichtmeere hervorragen, erscheinen ganz schwarz, die untern Theile dieser Berge aber stehn immer tiefer unter der Oberfläche dieses Meeres und werden daher auch allmälig immer lichter gefärbt. Allein damit harmonirt nicht die völlig gleichstarke Schattirung dieses aschgrauen Randes, der in allen seinen, den eigentlichen Flecken nahen und fernen Theilen durchaus dieselbe Helligkeit hat und dessen beide Enden beinahe immer sehr scharf begrenzt sind. Diese Erklärung, die auch Lalande[2] in seiner Astronomie in Schutz zu nehmen sucht, mufs daher als unzulässig verworfen werden.

Genügender scheint die Hypothese, die der ältere Herschel über diesen räthselhaften Gegenstand aufgestellt hat. Es wurde bereits oben[3] gesagt, dafs Herschel eine dreifache concentrische Umgebung des eigentlichen dunklen Körpers der Sonne annimmt. Die äufserste, vom Mittelpuncte am meisten entfernte Umgebung ist jenes Lichtmeer. Unmittelbar unter ihr befindet sich ein durchsichtiges und sehr elastisches Medium, das die Sonne in Form einer Kugelschicht rings umgiebt und das zugleich, durch seine grofse Spannkraft, jenes Lichtmeer immer in sehr grofsen Höhen über der Sonne

---

1 Hist. de l'Acad. 1700. Mém. de l'Academie de Paris. 1702. p. 138.

2 Astronomie. T. III. p. 288.

3 S. Art. *Sonne*.

erhält. Unter dieser Schicht endlich befindet sich eine dritte, wolkenartige, dunkle Schicht, die, von oben stark erleuchtet, einen guten Theil dieses von oben erhaltenen Lichts wieder in unsre Augen reflectirt und so jenen aschgrauen Rand bildet, den wir auch zuweilen auf der Sonne ohne jene schwarzen Flecken sehn, wenn nämlich blofs die obere oder die beiden obern Schichten durch irgend einen Zufall eine Oeffnung oder einen Rifs bekommen. Wenn aber dieser Rifs, wie es meistens geschieht, sich auch noch auf jene unterste Schicht fortpflanzt, dann erblicken wir den ganzen schwarzen Kern der Sonne durch jene Oeffnung und um ihn herum jene graue Einfassung, die daher nichts als der Reflex des von dem obern Lichtmeere in diese Oeffnungen gedrungenen und von der untersten Schicht wieder zu uns zurückgeworfenen Lichts seyn soll[1].

Alle Flecken scheinen fast parallel unter einander von Ost nach West über die Sonnenscheibe zu ziehn. Da wir aber, wenn wir die Sonne, die für uns immer in Süden steht, ansehn, eigentlich die gegen Norden gekehrte, oder die hintere Seite der Sonne betrachten, so ist die wahre Bewegung jener Flecken von West nach Ost gerichtet, wie wir auch sehen würden, wenn die Sonne durchsichtig wäre und wir jene Flecken auf der andern, uns abgewendeten Hälfte derselben betrachten könnten oder wie diese Bewegung einem Auge im Mittelpuncte der Sonne erscheinen würde. Gewöhnlich bringt ein solcher Flecken 12 bis 13 Tage zu, die uns sichtbare Scheibe der Sonne zu durchwandern. Dann sieht man ihn 14 bis 15 Tage nicht, aber er kommt endlich, wenn er überhaupt so lange dauert, nach 27 bis 28 Tagen seit der ersten Erscheinung auf demselben Puncte des östlichen Randes wieder zum

---

1 Andere Meinungen über die Sonnenflecken findet man in Wirdeburg's Muthmafsungen. Gotha 1776., Hausen Theoria motus solis, Bode Beschäft. der Berl. Ges. naturf. Freunde. Bd. II., Wilson on the solar spots in den Phil. Trans. Vol. 64., Schröter im Berl. Jahrb. 1792., Fischer ebend. 1791. und andern mehr. Noch können wir hier die sehr verbreitete Meinung erwähnen, dafs diese Flecken einen bedeutenden Einflufs auf unsere Witterung haben sollen. Allein es fehlt uns hier, wie bei so vielen andern meteorologischen Gegenständen, noch zu sehr an sichern und lange genug fortgesetzten Beobachtungen, um daraus bestimmte Resultate ableiten zu können.

Vorschein, um seinen zweiten Umlauf um die Sonne zu beginnen.

Wenn diese Flecken in der That mit der Oberfläche der Sonne fest zusammenhängen, wie aus dem Vorhergehenden sehr wahrscheinlich wird, so folgt daraus nicht nur, dafs die Sonne selbst sich in nahe ebendieser Zeit um eine Axe bewegt, die durch ihren Mittelpunct geht, sondern die Beobachtungen der Bahnen, welche diese Flecken beschreiben, werden zugleich ein bequemes Mittel geben, die nähern Umstände jener Rotation der Sonne zu bestimmen. Auch hat man diesen Versuch sehr bald nach der Entdeckung der Sonnenflecken gemacht und die Sonne war auch unter allen Himmelskörpern der erste, dessen Rotation man auf diese Weise erkannt und bestimmt hat.

Wenn man den Weg eines solchen Fleckens auf der ganzen Oberfläche der Sonne verfolgt und denselben auf einer Tafel verzeichnet, so findet man, dafs diese Wege gegen den 10. Junius und 10. December als gerade Linien erscheinen und dafs in diesen Linien die Flecken am 10. Junius abwärts oder von Nord gegen Süd, am 10. Dec. aber aufwärts von Süd gegen Nord gehn. Nach dem 10. Junius werden diese geraden Linien immer mehr so gekrümmt, dafs sie gegen die obere oder nördliche Seite hohl sind, und gegen den 10. September ist diese südliche Krümmung der Wege am stärksten. Hier erscheinen die Bahnen dieser Flecken als Ellipsen in ihrer stärksten Oeffnung. Nimmt man die grofse Axe dieser Ellipse oder den Durchmesser der Sonne als Einheit an, so findet man am 10. Sept. die kleine Axe derselben nahe gleich $\frac{1}{8}$. Nach dieser Zeit nähert sich diese krumme Linie wieder allmälig einer geraden, bis sie endlich, wie gesagt, am 10. December vollkommen gerade wird, so dafs jetzt die Flecken in dieser Geraden aufwärts von Süd gegen Nord gehn. Nach dieser Zeit fangen diese Wege wieder an, sich zu krümmen, aber jetzt aufwärts oder gen Norden, so dafs sie immer breitere Ellipsen werden, die aber ihre hohle Seite jetzt gen Süden wenden. Gegen den 10. März endlich erscheinen diese Ellipsen wieder am meisten geöffnet und das Verhältnifs ihrer beiden Axen ist wieder 8 zu 1, wie am 10. September. Diese Bahnen erscheinen also am Ende des ersten Drittheils des Junius und Decembers als gerade Linien, und in allen

Digitized by Google

andern Jahreszeiten als Ellipsen, die ihre convexe Seite ein halbes Jahr gen Nord und ebenso lange gen Süd gewendet haben und deren stärkste Krümmung in das erste Drittheil des März und des Septembers fallt.

Wenn also die Sonne sich um eine Axe dreht, die durch ihren Mittelpunct geht, und wenn sie dadurch einen dieser auf ihrer Oberfläche befindlichen Flecken mit sich um jene Axe führt, so wird dieser Flecken einen Kreis beschreiben, dessen Mittelpunct in jener Axe liegt und dessen Ebene auf dieser Axe senkrecht steht. Wenn daher die Erde, während sie jährlich ihre Bahn durchläuft, irgendwo in die verlängerte Ebene jenes Kreises kommt, so wird sie die Bahn des Fleckens als eine gerade Linie sehn, was daher am 10. Junius und 10. Dec. statt hat. Wenn aber die Erde am höchsten über jener Ebene steht, so wird sie die Peripherie jenes Kreises oder die Bahn des Fleckens als eine am tiefsten abwärts geneigte Ellipse erblicken, am 10. September, und wieder als eine am höchsen aufwärts geneigte Ellipse, wenn sie selbst, wie am 10. März, am tiefsten unter der Ebene jenes Kreises steht. Ganz dasselbe wird also auch von dem gröfsten aller dieser Kreise, das heifst, von dem *Aequator* der Sonne oder von demjenigen Kreise gelten, der auf der Rotationsaxe derselben senkrecht ist und durch den Mittelpunct der Sonne geht. Dieses wird uns also eine wenigstens genäherte Kenntnifs von der Lage des Sonnenäquators geben.

Da nämlich die Wege der Flecken am 10. Junius und 10. Dec. als gerade Linien erscheinen, so mufs die verlängerte Ebene des Sonnenäquators die Erdbahn in den zwei Puncten schneiden, welche die Erde selbst an diesen beiden Tagen einnimmt, d. h. in den beiden Puncten, deren Länge 79° und 259° ist, so dafs also diese beiden Puncte den auf- und absteigenden Knoten des Sonnenäquators bezeichnen. Um aber auch die Neigung dieses Aequators gegen die Erdbahn zu finden, ist der Sinus dieser Neigung offenbar gleich dem Verhältnisse der kleinen zur grofsen Axe in der Zeit, wo jene Ellipsen am meisten geöffnet sind, d. h. also am 10. März und 10. Sept. Zu dieser Zeit ist aber jenes Verhältnifs der Axen, wie wir gesehn haben, gleich $\frac{1}{8}$, und da dieses der Sinus von 7° 15′ ist, so ist auch dieser Winkel gleich der gesuchten Neigung des Sonnenäquators gegen die Erdbahn.

Digitized by Google

Nennt man a und b die halbe grofse und kleine Axe der Ellipse, welche der Flecken zu einer Zeit beschreibt, wo die Länge der Sonne gleich λ ist, und nennt man $\varkappa$ die Länge des aufsteigenden Knotens und n die Neigung des Sonnenäquators gegen die Erdbahn, so findet man durch eine sehr einfache Betrachtung der sphärischen Trigonometrie die Gleichung

$$\frac{b}{a} = \text{Sin. n Sin.}(\varkappa - \lambda),$$

und diese Gleichung reicht hin, alle vorhin angeführten Erscheinungen zu erklären und auch zugleich die Werthe von $\varkappa$ und n zu bestimmen. Die Gröfse $\frac{b}{a}$ ist positiv, wenn die Ellipse gen Süd oder abwärts gekrümmt oder wenn sie gegen die nördliche Seite hohl ist; im Gegentheile aber negativ. Wenn man für irgend eine Zeit $b = 0$ findet, d. h. wenn die Bahn des Fleckens als eine gerade Linie erscheint, so ist $\lambda = \varkappa$ oder die Länge des aufsteigenden Knotens des Sonnenäquators ist gleich der Länge der Sonne für diese Zeit. Kennt man so die Gröfse $\varkappa$, so darf man nur diejenige Zeit abwarten, wo $\varkappa - \lambda = 90$ oder gleich 270° ist und dann das Verhältnifs $\frac{b}{a}$ der beiden Axen durch eine Beobachtung bestimmen, um auch die gesuchte Neigung n des Aequators zu erhalten, da für diese Zeit $\frac{b}{a} = \text{Sin. n}$ ist. Nehmen wir an, man habe von einem Flecken am Mittage des 20. Aprils 1835 das Verhältnifs der beiden Axen $\frac{b}{a} = -0{,}094$ und am 1. November $\frac{b}{a} = +0{,}080$ gefunden. Da die Länge der Sonne für diese beiden Mittage $29^\circ\,38'$ und $218^\circ\,20'$ ist, so hat man die zwei Gleichungen

$$-0{,}094 = \text{Sin. n Sin.}(\varkappa - 29^\circ\,38')$$
$$+0{,}080 = \text{Sin. n Sin.}(\varkappa - 218^\circ\,20'),$$

woraus man findet

Länge des aufst. Knotens des Sonnenäquators $k = 257^\circ\,50'$
und Neigung desselben gegen die Ekliptik $n = 7^\circ\,15'$.

Obschon diese Bewegung der Sonne um ihre eigne Axe

keinen unmittelbaren Zusammenhang mit der Bewegung der Planeten um die Sonne hat, wie Descartes und selbst Keppler geglaubt haben, welcher letztere sogar diese Bewegung aus jenen ableiten wollte, so wäre doch die genaue Kenntnifs der Lage dieses Aequators den Astronomen sehr erwünscht. Die Stellung dieser Ebene wird blofs durch die Umdrehung der Sonne selbst bestimmt, ist von allen Beziehungen auf andere Körper frei und auch, so viel uns bekannt ist, unveränderlich, was weder von der Ekliptik, noch von irgend einer andern Planetenbahn gilt. Endlich liegen alle diese Planetenbahnen in der Nähe dieses Sonnenäquators und die Theorie ihrer Störungen würde ohne Zweifel sehr erleichtert werden, wenn man die Lage dieser Bahnen, statt auf die Ekliptik, auf den Sonnenäquator bestimmen könnte, was aber erst dann ausführbar seyn wird, wenn die Lage dieses Aequators selbst ganz genau bekannt ist. Aus diesem Grunde hat daher auch schon vor einem Jahrhunderte Cassini[1] vorgeschlagen, allen unsern Rechnungen die Lagen der Planetenbahnen gegen die Ebene des Sonnenäquators zu Grunde zu legen. Aus allen diesen und noch andern, hier zu übergehenden Gründen wird es nicht unzweckmäfsig scheinen, hier das Vorzüglichste über diesen Gegenstand kurz beisammen zu finden.

Die einfachste Beobachtungsart der Sonnenflecken ist die an einem Aequatorial, womit man sofort die Differenz der Rectascension und Declination des Fleckens und des Sonnenmittelpuncts erhält und die Beobachtungen zur gröfsern Sicherheit öfter wiederholen kann. Man benutzt dazu ein Kreismikrometer, was sich zu diesen Beobachtungen besonders eignet. Ist r der Halbmesser der Sonne und r′ der des Kreises, t die Zeit zwischen den äufseren Berührungen der Sonne und des Kreises, t′ die Zeit zwischen dem Ein- und Austritte des Fleckens und endlich δ die Declination der Sonne, so sucht man die Gröfsen D und D′ aus

$$D^2=(r+r'^2)-\left(\frac{15\,t}{2}\,\mathrm{Cos.}\,\delta\right)^2 \text{ und } D'=r'^2-\left(\frac{15\,t'}{2}\,\mathrm{Cos.}\,\delta\right)^2$$

und dann ist $D'-D=d\delta$ die Differenz der Declinationen des Fleckens und des Sonnenmittelpunctes; die Differenz $d\alpha$

1 Mém. de Paris. 1734. p. 146.

Rectascensionen aber ist der halbe Unterschied zwischen den Summen der Ein - und Austrittszeiten der Sonne und des Fleckens.

Aus diesen Werthen von $d\alpha$ und $d\delta$ findet man dann die Differenzen der Länge $d\lambda$ und der Breite $d\beta$ des Fleckens und des Sonnenmittelpuncts durch die Gleichungen

$$d\lambda = d\delta \text{ Sin. } u + d\alpha \text{ Cos. } u \text{ Cos. } \delta$$
$$d\beta = d\delta \text{ Cos. } u - d\alpha \text{ Sin. } u \text{ Cos. } \delta,$$

wo u der Winkel des Breitenkreises der Sonne mit ihrem Declinationskreise oder wo $\text{Tang. } u = \text{Cos. } \lambda \text{ Tang. } e = \text{Sin. } \delta \text{ Cotg. } \alpha$ ist, wenn e die Schiefe der Ekliptik und λ, α, δ die Länge, Rectascension und Declination der Sonne bezeichnet

Dieses vorausgesetzt hat man also für die geocentrische oder von der Erde gesehene Länge des Fleckens $L = \lambda + d\lambda$ und für die geocentrische Breite desselben $B = d\beta$.

Um daraus die heliocentrische oder von dem Mittelpuncte der Sonne gesehene Länge l und Breite b des Fleckens zu finden, sey wieder r der Halbmesser der Sonne und R die Entfernung ihres Mittelpuncts von dem der Erde, so ist sofort

$$\text{Sin. } b = \frac{R}{r} \text{ Sin. } B \text{ und}$$

$$\text{Sin. } (l - L) = \frac{R \text{ Sin. } (L - \lambda)}{r \text{ Cos. } b} \text{ od. Sin. } (\lambda - l) = \frac{R \text{ Cos. } B \text{ Sin. } (\lambda - L)}{r \text{ Cos. } b}.$$

Auf diese Weise kennt man für jede einzelne Beobachtung die heliocentrische Länge l und Breite b des Fleckens und damit die Gleichung der Ebene, in welcher sich der Flecken bewegt,

$$x \text{ Cos. } b \text{ Cos. } l + y \text{ . Cos. } b \text{ Sin. } l + z - \text{Sin. } b = 0,$$

in welcher Gleichung aber die drei Gröfsen x, y, z, welche die Lage jener Ebene bestimmen, noch unbekannt sind. Bezeichnet man dieselben Gröfsen l und b für eine zweite und dritte Beobachtung mit einem und mit zwei Strichen, so hat man

$$x \text{ Cos. } b' \text{ Cos. } l' + y \text{ . Cos. } b' \text{ Sin. } l' + z - \text{Sin. } b' = 0,$$
$$x \text{ Cos. } b'' \text{ Cos. } l'' + y \text{ . Cos. } b'' \text{ Sin. } l'' + z - \text{Sin. } b'' = 0.$$

Aus diesen drei Gleichungen findet man die Werthe von x, y, z durch Elimination. Man sieht, dafs man die drei Beobachtungen desselben Fleckens so weit als möglich von

einander entfernt nehmen mufs, um die Gröfsen x, y, z mit Sicherheit zu erhalten.

Heifst dann n die Neigung des Sonnenäquators gegen die Ekliptik, $\varkappa$ die Länge seines aufsteigenden Knotens und endlich Δ die constante heliocentrische Declination des Fleckens, so hat man

$$\text{Tang. } n = \sqrt{x^2+y^2},$$

$$\text{Tang. } \varkappa = -\frac{x}{y} \text{ und}$$

$$\text{Sin. } \Delta = z \text{ Cos. } n = \frac{z}{\sqrt{1+x^2+y^2}}$$

und dadurch ist die Lage des Sonnenäquators und zugleich die des Fleckens selbst bestimmt.

Ist endlich Θ die Zeit zwischen der ersten und dritten Beobachtung, h die Sehne zwischen beiden Orten des Fleckens, ϱ der Halbmesser seines Parallelkreises und T die Rotationszeit der Sonne, so hat man

$$h^2 = 2r^2 [1 - \text{Cos. b Cos. b}'' \text{ Cos.}(l'' - l) - \text{Sin. b Sin. b}'']$$

und

$$\varrho = r \text{ Cos. } \Delta.$$

Setzt man dann $\text{Sin. } \frac{m}{2} = \frac{h}{2\varrho}$, so ist die gesuchte Rotationszeit

$$T = 360^\circ \frac{\Theta}{m}.$$

Auf diese Weise wird man also aus je drei Beobachtungen desselben Fleckens die Gröfsen n, $\varkappa$, Δ und T ableiten. Da aber die Beobachtungen, welche diesen Rechnungen zu Grunde liegen, ihrer Natur nach keiner grofsen Schärfe empfänglich sind, so wird man sich nicht blofs mit drei Beobachtungen begnügen, sondern dann so viele als möglich nehmen und auf sie die bekannte Methode der kleinsten Quadrate anwenden. Hat man nämlich, nach dem vorhergehenden Verfahren, genäherte Werthe von x, y, z gefunden und setzt man die wahren, aber noch unbekannten Werthe dieser Gröfsen gleich $x + dx$, $y + dy$, $z + dz$, so würde man eigentlich für jede Beobachtung erhalten

$$(x + dx) \text{ Cos. b Cos. l} + (y + dy) \text{ Cos. b Sin. l} + (z + dz) - \text{Sin. b} = 0$$

oder, wenn man die bereits bekannte Gröfse

$x \cos b \cos l + y \cos b \sin l + z - \sin b$ gleich A setzt,

$$A + dx \cos b \cos l + dy \cos b \sin l + dz = 0,$$

und dieses wird die *Bedingungsgleichung* der ersten Beobachtung seyn. Man wird also solcher Bedingungsgleichungen so viele, als Beobachtungen vorhanden sind, erhalten und dann aus ihnen die wahrscheinlichsten Werthe der Gröfse dx, dy und dz nach der erwähnten Methode ableiten.

Es wäre zu wünschen, dafs dieses Verfahren mit der gehörigen Umsicht und Beharrlichkeit Anwendung fände, um jene Elemente der Sonnenbewegung näher kennen zu lernen. Die Astronomen variiren in ihren Angaben über diese Elemente noch viel zu stark, um dieselbe auch nur als bereits beinahe bekannt ansehn zu können. So fanden

	Aufst. Knoten	Neigung	Tropische	Revolution
Scheiner	250°	7°	25 Tage	
Cassini	248°	7° 30′	25	14 Stunden
Lalande	257° 53′	7 20	25	10
Delambre	259° 48′	7 19	25	0

Lalande glaubte aus seinen Untersuchungen schliefsen zu dürfen, dafs wir die Umlaufszeit der Sonne wenigstens bis auf zwei Stunden genau kennen. Delambre setzt diese Grenze bis auf einen halben Tag, so dafs unter der letzten Voraussetzung sehr alte Beobachtungen zur Bestimmung der Umlaufszeit nicht mehr anwendbar sind, weil man sich von der Identität der früher und jetzt beobachteten Flecken nicht mehr überzeugen kann. Wahrscheinlich liegt die Ursache der so geringen Uebereinstimmung der Resultate unserer Rechnungen darin, dafs die Sonnenflecken nicht nur ihre Gestalt, sondern auch ihren Ort auf der Sonne oft schon in kurzer Zeit nicht unbeträchtlich ändern, in welchem Falle sie denn zur Bestimmung der Rotationszeit und der Lage des Aequators der Sonne nicht mehr geeignet sind. Dazu kommt noch, dafs die Ableitung des heliocentrischen Orts der Flecken aus dem beobachteten geocentrischen grofsen Schwierigkeiten unterworfen ist, da die Gröfse $\frac{R}{r}$, mit welcher die geocentrischen Ausdrücke, wie wir oben gesehn haben, multiplicirt werden müssen, um sie in die heliocentrischen zu verwandeln, nahe gleich 214 ist, so dafs also jeder Fehler der Beobachtung, der hier

so schwer zu vermeiden ist, für den heliocentrischen Ort schon über 200mal vergröfsert wird. Delambre[1] findet, dafs jede Secunde Fehler in der geocentrischen Beobachtung schon 5′ 37″ oder 337 Secunden Aenderung im heliocentrischen Orte hervorbringe. *L.*

Sonnenjahr.

Annus solaris; Année solaire; *Solar year.*

Wenn man den Mond mehrere auf einander folgende Nächte nur mit einiger Aufmerksamkeit betrachtet, so findet man, dafs er seinen Ort unter den Fixsternen beständig ändert und dafs er nahe in der Zeit eines Monats alle die Sterne, die auf seiner Bahn liegen, von West gen Ost durchwandert. Die Sterne z. B., bei welchen wir ihn gestern um Mitternacht sahen, stehn heute um dieselbe Zeit schon nahe 13 Grade westlich von ihm, entfernen sich an jedem Tage um dieselbe Gröfse gen West und kommen endlich nach 27 Tagen 7 Stunden wieder mit ihm zusammen. Daraus folgt also, dafs der Mond sich von West gen Ost um die Erde bewegt und dafs er diese seine Bahn in der Zeit von 27 Tagen 7 Stunden (genauer in 27,32166 Tagen) vollendet.

Aehnliche, nur nicht so grofse und so auffallende Bemerkungen kann man auch an der Sonne machen. Zwar macht sie uns durch ihr helles Licht diejenigen Sterne des Himmels, bei welchen sie sich eben aufhält, unsichtbar, aber wir dürfen nur statt dieser Sterne die der Sonne entgegengesetzten, die um Mitternacht culminiren, betrachten, um die ähnliche Bewegung der Sonne sofort zu erkennen. So sehn wir z. B. das schöne und allgemein bekannte Sternbild des Orions in der Mitte des Decembers genau um Mitternacht in unserm Meridiane oder in seinem höchsten Orte über unserm Horizonte. Allein 14 Tage später, oder im Anfange des Jahrs, bemerken wir dieses Sternbild schon viel früher, nämlich um $10\frac{1}{4}$ Uhr Abends im Meridiane, am ersten Februar noch früher um $8\frac{1}{4}$ Uhr, am ersten März schon um 7 Uhr u. s. w., so dafs also dieses Sternbild am Ende eines jeden Monats um nahe 30 Grade weiter gegen Westen steht, als

1 Astronomie théor. et prat. T. III. p. 23.

es im Anfange dieses Monats gestanden hat. Dasselbe mufs daher auch mit jedem andern Sternbilde, also auch mit jenen geschehn, bei welchen heute die Sonne um Mittag steht, wenn wir dieses Sternbild gleich nicht sehn können, da es uns eben durch das viel stärkere Sonnenlicht unsichtbar gemacht wird. Auch dieses Sternbild wird also in jedem Monat nahe 30° westlich von der Sonne sich entfernen, oder vielmehr, da die Sterne, wie wir wissen, unbeweglich am Himmel stehn, so wird die Sonne es seyn, die sich von diesen Sternen jeden Monat um 30 Grade in verkehrter Richtung oder von West gen Ost, also in 12 Monaten, d. h. in einem Jahre, um 360° entfernt. Die Umlaufszeit der Sonne oder das Sonnenjahr beträgt daher nahe 365 Tage, denn so viele Tage enthalten die 12 Monate unsers Jahres.

Dieses sind die ersten noch unvollkommenen Bemerkungen über die Bewegung der Sonne, die man ohne Zweifel schon sehr früh angestellt hat. Als man später die Sache näher und mit Hülfe von Instrumenten betrachtete, fand man daran noch gar manches zu verbessern, und es ist noch kaum ein Jahrhundert her, dafs wir diesen Gegenstand endlich mit derjenigen Genauigkeit kennen lernten, welche dem gegenwärtigen Zustande der Wissenschaft angemessen ist. Man bemerkte wahrscheinlich ebenfalls schon sehr früh, dafs die Bahn, in welcher die Sonne ihren jährlichen Lauf um die Erde vollendet, ein gröfster Kreis der Himmelssphäre und dafs derselbe gegen den Aequator unter einem Winkel von nahe 23½ Graden geneigt sey. Die Lage des Aequators konnte man sehr leicht aus denjenigen Fixsternen erkennen, die täglich genau in dem Ost- und Westpuncte des Horizonts auf- und untergehn. Da nun die Sonne gegen die Mitte des März und Septembers in denselben Puncten auf- und untergeht, so schlofs man daraus, dafs die Sonnenbahn den Aequator in den zwei einander entgegengesetzten Puncten des Himmels schneidet, in welchen man die Sonne zu jenen zwei Zeiten beobachtet hatte. Auf diese Weise lernte man den Ort der beiden Nachtgleichen kennen. Drei Monate vor und nach jenen zwei Zeiten bemerkte man, dafs die Sonne am weitesten vom Aequator entfernt und zwar in der Mitte des Junius 23½ Grade nördlich und in der Mitte des December ebenso viel südlich vom Aequator stehe, woraus man schlofs, dafs die Sonnenbahn, welche den

Digitized by Google

Aequator in der Linie der Nachtgleichen durchschneidet, um diesen Winkel von 23½ Graden gegen den Aequator schief liegen mufs.

Nachdem man so die Lage der Sonnenbahn etwas näher kennen gelernt hatte, konnte man auch die Umlaufszeit der Sonne in dieser ihrer Bahn genauer bestimmen. Das einfachste Mittel zu diesem Zwecke war, die Augenblicke durch Beobachtungen festzusetzen, wo die Sonne in einem jener zwei Nachtgleichenpuncte, z. B. in den Frühlingspunct, eintrat. Zwei solcher Eintritte gaben sofort die gesuchte Umlaufszeit der Sonne oder, was dasselbe ist, die *Länge des Sonnenjahrs*. Diese Beobachtungen waren aber sehr leicht, denn man durfte nur um die Zeit der Nachtgleichen einige Tage hindurch die mittägige Höhe der Sonne beobachten und mit ihr die bereits bekannte Aequatorhöhe des Beobachtungsortes (die gleich 90° weniger der geogr. Breite desselben ist) vergleichen. Der Augenblick, wo diese beiden Gröfsen einander gleich sind, ist der gesuchte Augenblick des Aequinoctiums. So fand man z. B. im Jahre 1834 diese Zeit des Frühlings-äquinoctiums am 21. März um 3 St. 10′ 5″ Morgens und im Jahre 1835 am 21. März um 8 St. 58′ 8″ Morgens in mittlerer Zeit ausgedrückt. Die Differenz dieser zwei Momente beträgt 365 T. 5 St. 48′ 3″ und dieses soll auch die gesuchte Länge des Jahres seyn.

Allein dabei ist eine hier sehr wichtige Bemerkung noch unberücksichtigt gelassen worden. Die Sonne bewegt sich nämlich, wie schon die alten Griechen bemerkten, keineswegs gleichförmig in ihrer Bahn, sondern vielmehr mit einer sehr veränderlichen Geschwindigkeit. Gegen das Ende des Decembers geht sie am schnellsten und legt täglich 1° 1′ 11″, im Anfang des Julius aber, wo sie am langsamsten geht, legt sie täglich nur 0° 57′ 13″ zurück. So oft sie in dieselbe Entfernung von der grofsen Axe ihrer Bahn kommt, hat sie allerdings auch wieder dieselbe Geschwindigkeit, aber dieses ist nicht der Fall, so oft sie wieder in den Frühlingspunct kommt, weil diese grofse Axe sowohl, als auch der Frühlingspunct selbst eine eigene Bewegung im Weltraume hat[1]. Dazu kommt noch, dafs die Beobachtung der Zeit, wo die

1 Vergl. *Sonnennähe* und *Vorrückung der Nachtgleichen*.

Digitized by Google

Sonnenhöhe genau gleich der Aequatorhöhe ist, leicht einige Secunden fehlerhaft seyn kann. Jene Veränderung der Geschwindigkeit kann man durch eine angemessene Rechnung berücksichtigen, da die Theorie der Bewegung der Sonne schon sehr nahe bekannt ist, aber diese Fehler der Beobachtung lassen sich nicht so leicht umgehn oder vermeiden. In der That ist auch die vorhergehende Bestimmung der Länge des Jahres, wie wir bald sehn werden, um nahe 48 Sec. zu klein. Ganz anders aber wird sich die Sicherheit dieser Bestimmung der Länge des Jahrs verhalten, wenn man dazu nicht die Beobachtungen zweier nächsten Jahre, wie wir oben gethan haben, sondern wenn man zwei durch eine sehr grofse Zwischenzeit, z. B. durch mehrere Jahrhunderte, von einander getrennte Beobachtungen zu Hülfe ruft. Eine der ältesten dieser Beobachtungen, die uns Ptolemäus in seinem Almagest aufbewahrt hat, ist die, welche Hipparch im J. 146 vor Ch. G. am 24. März 6 St. 10′ Paris. Zeit (nach unserm Style zu rechnen) angestellt hat. Vergleicht man damit eine Beobachtung von dem gegenwärtigen Jahre 1835, so beträgt die Zwischenzeit 1981 Jahre. Wenn man daher auch in diesen beiden Beobachtungen zusammen oder auch in den Berechnungen der beiden Geschwindigkeiten der Sonne einen Fehler, wie vorhin, von 50 Sec. gemacht hätte, so würde man dadurch nicht, wie oben, in einen ebenso grofsen Fehler von 50 Sec. in der Länge des Jahres verfallen seyn, sondern die Länge, die man aus diesen, durch 1981 Jahre von einander entfernten Beobachtungen findet, würde nur um $\frac{50}{1981}$, das heifst, nur um die ungemein kleine Gröfse von 0,025 Secunden fehlerhaft seyn. Dieses zeigt daher, wie schätzbar solche sehr alte Beobachtungen den Astronomen sind. Es ist nur Schade, dafs die Beobachtungen, welche uns von den Griechen und selbst von den Arabern aus dem 9ten und 10ten Jahrhundert erhalten wurden, so wenig genau sind, dafs der oft sehr grofse Fehler derselben durch ihr Alter nicht hinlänglich vermindert wird.

Ptolemäus setzte die Länge des Jahrs gleich 365 T. 5 St. 55′ 12″; Copernicus 365 T. 5 St. 49′ 16″,4; Cassini aber fand aus der Vergleichung vieler ältern Beobachtungen 365 T. 5 St. 48′ 49″, sehr nahe übereinstimmend mit den neuesten An-

Digitized by Google

nahmen. Statt dieser 49″ des Cassini nahm Newton 57″, Halley 55″, Mayer 51″ und Maskelyne 48″ an. Lalande, der die sämmtlichen neun Nachtgleichenbeobachtungen des Hipparch mit den der Neuern verglich, fand daraus 48″. Er verglich mit den Neuern auch die Beobachtungen des Coschuking, die in China um d. J. 1280 nach Chr. G. angestellt wurden, so wie die des Walther (gest. 1504), und fand daraus ebenfalls 47″ bis 48″; wir sind ihm die des Arabers Albategnius (gegen 880 nach Ch. G.) schuldig, welche 52″ gaben. Nach Laplace, mit welchem die vorzüglichsten neuern Bestimmungen harmoniren, ist die wahre Länge des Sonnenjahrs gleich 365 T. 5 St. 48′ 50″,832 oder gleich 365,242255 mittlere Sonnentage[1].

Man nennt dieses das *tropische* Sonnenjahr, nämlich die Zeit zwischen zwei nächsten Durchgängen der mittlern Sonne durch den Frühlingspunct. Allein dieses ist nicht die Zeit eines vollen Umlaufs der Sonne um die Erde, da der Frühlingspunct selbst kein fester Punct am Himmel ist, sondern sich vielmehr vermöge der Präcession jährlich um den kleinen Bogen von 50″,2113 auf dem Aequator rückwärts oder von Ost gen West bewegt, während die Sonne umgekehrt oder von West gen Ost um die Sonne geht. Diesen Bogen von 50″,2113 mufs also die Sonne, wenn sie wieder zu dem frühern Orte des Frühlingspunctes zurückgekommen ist, noch durchlaufen, um die ganze Peripherie von 360 vollen Graden um die Erde zurückzulegen, und die Zeit, welche sie dazu gebraucht, mufs zu der oben gefundenen Länge des tropischen Jahrs addirt werden, um die Länge des *siderischen* oder des Sternjahrs der Sonne, das heifst, um diejenige Zeit zu erhalten, bis sie wieder, nicht zu demselben Frühlingspuncte, sondern zu demselben fixen Puncte des Himmels, z. B. zu demselben Fixsterne, zurückkehrt. Diese letzte, die siderische Umlaufszeit, ist daher die eigentliche oder *wahre* Revolution der Sonne um die Erde. Es ist aber sehr leicht, eine dieser beiden Umlaufszeiten zu finden, wenn man bereits die andere kennt. Sey A das siderische und B das tropische Sonnenjahr, oder sey überhaupt A die Umlaufszeit der Erde oder irgend eines andern Planeten um die Sonne, in Tagen ausgedrückt, in

---

1 Vergl. *Sonnenzeit*.

Beziehung auf irgend einen Punct des Himmels, also auch $\frac{360}{A}$ die tägliche Bewegung dieses Körpers in Beziehung auf denselben Punct. Sey ferner m die tägliche Bewegung irgend eines zweiten Puncts in Beziehung auf jenen ersten, so ist also auch $\frac{360}{A} - m$ die tägliche Bewegung des Körpers in Beziehung auf diesen zweiten Punct und daher die Umlaufszeit B des Körpers in Beziehung auf diesen zweiten Punct

$$B = \frac{360}{\frac{360}{A} - m} \text{ und daher auch } A = \frac{360}{\frac{360}{B} + m},$$

durch welche Gleichungen man daher B aus A oder A aus B bestimmen kann. Für unsern Fall ist, da m in Graden ausgedrückt seyn mufs, $m = \frac{50'',2113}{(365,242255)3600} = 0°,0000381$, und zwar negativ, da Sonne und Frühlingspunct nach entgegengesetzten Richtungen gehn. Setzt man also die tropische Umlaufszeit $B = 365,242255$, so gilt die letzte unserer zwei Gleichungen $A = \frac{360}{0,98561 - 0,0000381}$ oder $A = 365,256384$ und dieses ist die gesuchte siderische Umlaufszeit oder das *Sternjahr* der Sonne, die also gleich 365 T. 6 St. 9′ 11″,5776 mittlerer Zeit beträgt.

Man unterscheidet noch ein anderes Sonnenjahr, das *anomalistische*, welches die Zeit zwischen zwei nächsten Durchgängen der Sonne durch denselben Endpunct der grofsen Axe ihrer Bahn ist. Von diesem Endpuncte fängt man nämlich an, die mittlere und wahre Anomalie der Sonne zu zählen, die man dann bis 360° fortrechnet[1]. Da das Apogeum oder Perigeum der Sonne in jedem Jahre um 0° 1′ 2″ = 0°,01722 in Beziehung auf den Frühlingspunct gen Ost fortrückt und da die mittlere tägliche Bewegung der Sonne in Beziehung auf diesen Punct gleich $\frac{360}{365,242255} = 0,9856472$ Grade ist, so wird die Sonne jenen Bogen von 1°,01722 in 0 St. 25′ 8″ zurücklegen, um welche Zeit daher das anomalistische Sonnen-

1 S. Art. *Anomalie*. Bd. I. S. 293.

Digitized by Google

jahr gröfser ist als das tropische, so dafs man für die Länge des anomalistischen Jahrs hat 365 T. 6 St. 13′ 59″. Genauer findet man dasselbe durch die vorhergehende Gleichung, wenn man $m = \frac{0{,}01722}{365{,}242255} = 0{,}00004715$ setzt.

Uebrigens mufs bemerkt werden, dafs weder das tropische, noch das anomalistische Jahr immer dieselbe Länge hat. Die Ursache davon ist, weil die Geschwindigkeit, mit welcher sich der Frühlingspunct sowohl, als auch die grofse Axe der Sonnenbahn im Raume fortbewegt, sich mit der Folge der Jahrhunderte ändert. Der mittlere Werth des tropischen Jahrs ist eigentlich 365 T. 5 St. 48′ 46″,8 und diese Länge wird erst gegen das Jahr 2360 nach Ch. G. statt haben. In unsern Tagen ist also das Jahr um 4″ gröfser, als das mittlere. Im Jahre 3040 vor Ch. G. war es am gröfsten und gleich 365 T. 5 St. 49′ 24″,8, und so schwankt es in einer Periode von nahe 10600 Jahren zwischen den beiden äufsersten Grenzen 365 T. 5 St. 48′ 8″,8 und 365 T. 5 St. 49′ 24″,8 immerwährend auf und ab [1].

Schon die ältesten Nationen scheinen die Eintheilung ihrer Jahre nach dem Mondlaufe vorgenommen zu haben, daher die 12 Theile desselben, die man *Monate* nennt. Sie hatten übrigens auch Jahre von 3 und 4 Monaten, um dadurch die Jahreszeiten zu unterscheiden. Die Aegyptier scheinen die Jahre von 12 Monaten, jeden zu 30 Tagen, also das Jahr selbst zu 360 Tagen zuerst eingeführt zu haben, wie auch aus Moses Schriften hervorgeht, der um das Jahr 1550 vor Ch. lebte [2].

Bei dem Monde hat man aufser jenen drei Umlaufszeiten noch zwei andere eingeführt. Die *siderische* Umlaufszeit des Mondes oder die Zeit zwischen zwei nächsten Conjunctionen desselben mit demselben Fixsterne beträgt nach den neuesten Bestimmungen 27,32166 Tage. Nimmt man die Präcession der Nachtgleichen in einem julianischen Jahre von 365¼ Tagen gleich 50″,1, so findet man daraus die *tropische* Umlaufszeit des

---

1 Vergl. *Vorrückung der Nachtgleichen.*

2 Ueber die verschiedenen Jahresformen der Alten s. Alex. ab Alex. dier. gen. Lib. III. cap. 24. u. Gyrald. de dieb. annis et mensibus. Fabricii Menologium. Hamb. 1712. Vergl. Art. *Jahr.*

Monds um die Erde gleich 27,321582 Tagen. Das *Perigeum* der Mondbahn bewegt sich in einem gemeinen Jahre von 365 Tagen durch 40° 38′ 55″,69 in Beziehung auf die Fixsterne von West gen Ost; also ist die *anomalistische* Umlaufszeit des Monds, in Beziehung auf die grofse Axe seiner Bahn, gleich 27,5549 Tagen. Die *Knoten* der Mondbahn bewegen sich in einem gemeinen Jahre von 365 Tagen durch 19° 20′ 33″,46 in Beziehung auf die Fixsterne und zwar von Ost gen West, also ist die Umlaufszeit des Monds in Beziehung auf seine Knoten gleich 27,21214 Tagen, und man nennt diese Umlaufszeit den *Drachenmonat*, weil man den auf- und untersteigenden Knoten der Mondbahn, die man durch ☊ und ☋ bezeichnet, mit der Sprache der alten Astrologen den Drachenkopf und Drachenschwanz zu nennen pflegt. Ferner ist die mittlere tropische Bewegung der Sonne in einem Tage nach dem Vorhergehenden gleich 0° 59′ 8″,33, also ist auch die Zeit zwischen zwei nächsten Conjunctionen oder Oppositionen des Monds mit der Sonne, d. h. die Zeit zwischen zwei nächsten mittleren Neu- oder Vollmonden, gleich 29,530587 Tagen, und diese Zeit nennt man den *synodischen Monat*, von *σὺν mit* und *ὁδὸς* Weg, weil nämlich in dieser Zeit die Sonne und der Mond denselben Weg um die Erde oder die volle Peripherie von 360° zurücklegen. Auch diese Umlaufszeiten, besonders der Drachenmonat, sind grofsen Aenderungen unterworfen, weil die Bewegung der Mondknoten sehr ungleichförmig ist. Endlich mufs noch bemerkt werden, dafs bei allen diesen Angaben durchaus *mittlere Sonnentage* zu verstehn sind. Nimmt man die Umdrehungszeit der Erde um ihre Axe oder den *Sterntag* als die Einheit der Zeit an, so beträgt jener mittlere Tag 1,0027379 eines Sterntags oder, was dasselbe ist, der mittlere Tag hat 24 St. 3′ 56″, 55456 Sternzeit.

L.

Sonnennähe.

Perihelium; Perihélie; *Perihelion.*

Sonnennähe (*Perihelium*) ist derjenige Punct einer Planeten- oder Kometenbahn, welcher der Sonne unter allen übrigen Puncten der Bahn am nächsten steht, sowie Son-

Digitized by Google

nenferne (*Aphelium*) den von der Sonne am meisten entfernten Punct dieser Bahnen bezeichnet. Beide Puncte zusammen heifsen die Absiden oder auch Apsiden und die sie verbindende gerade Linie die *Apsidenlinie*[1].

Diese Bahnen sind, soweit wir sie kennen, alle Ellipsen. Sey also A B M P eine Ellipse, C ihr Mittelpunct und S einer ihrer Brennpuncte, in welchem die Sonne steht, so ist die Gerade A P, welche durch die Puncte C und S geht, die Apsidenlinie oder auch, wie man sie zu nennen pflegt, die *grofse Axe* der Bahn. Der Punct P, welcher der Sonne am nächsten liegt, ist das Perihelium und der von P entfernteste Punct A das Aphelium des Planeten. Auch nennt man S P die kürzeste und S A die weiteste Entfernung des Planeten. Nennt man A C = C P = a die halbe grofse Axe und C S = a e die Excentricität, so dafs also $e = \frac{CS}{AC}$ das Verhältnifs der Excentricität zur halben grofsen Axe ist, und zieht man durch die Puncte C und S auf die grofse Axe die senkrechten Linien C B = b und S E = p, so heifst b die halbe *kleine Axe* und p der halbe *Parameter* der Bahn, und man hat zwischen diesen Gröfsen die folgenden Gleichungen: Fig. 333.

kürzeste Distanz $S P = a(1 - e)$,
weiteste Distanz $S A = a(1 + e)$,
halbe kleine Axe $b = a\sqrt{1 - e^2}$,
halber Parameter $p = \frac{b^2}{a} = a(1 - e^2)$.

Um den Ort des Planeten M in seiner elliptischen Bahn zu bestimmen, mufs man seinen *Radius vector* S M = r und den Winkel P S M = v kennen, welchen dieser Radius Vector mit der kürzesten Distanz S P bildet. Zwischen diesen beiden Gröfsen r und v hat man den Ausdruck

$$r = \frac{P}{1 + e \text{ Cos. } v},$$

welches die bekannte Gleichung der Ellipse ist, die also von den beiden Gröfsen r und v die eine giebt, wenn die andere bekannt ist. In diesem Ausdrucke ist die Gröfse e ihrer Natur nach positiv und kleiner als 1. Nimmt man aber e gröfser als 1 an, so gehört dieselbe Gleichung für die Hyperbel,

---

1 S. *Absiden*. Bd. I. S. 347.

und endlich, wenn $e = 1$ ist, für die Parabel. Auch in der Parabel heifst derjenige Punct, welcher dem Brennpuncte zunächst liegt, das Perihelium der Bahn. Da aber die grofse Axe der Parabel unendlich grofs ist, so hat diese Curve kein Aphelium. Es ist zwar äufserst unwahrscheinlich, dafs irgend ein Komet in einer parabolischen Bahn um die Sonne gehn sollte, allein da die Ellipse einer Parabel, wenn sie dieselbe Lage der grofsen Axe und dieselbe kürzeste Entfernung hat, desto näher kommt, je gröfser die grofse Axe der Ellipse ist, und da sehr viele Kometen in Ellipsen sich bewegen, deren grofse Axe, in Beziehung auf ihre kleine Axe, ungemein grofs ist, so kann man in einer ersten Näherung annehmen, dafs diese Kometen, wenigstens in der Nähe ihres Perihe-liums, wo sie uns wegen ihres geringern Abstandes von der Erde allein sichtbar sind, eine parabolische Bahn beschreiben, wodurch die Berechnungen dieser Kometenbahnen sehr abgekürzt werden, da in der Parabel die grofse Axe unendlich grofs, also gleichsam schon als bekannt angenommen wird, während sie in der Ellipse erst gesucht werden mufs. Dieses ist zugleich die Ursache, warum man bei allen Planeten- und Kometenbahnen die wahre Anomalie $PSM = v$ jetzt allgemein vom Perihelium P zu zählen anfängt, weil man dieses bei den parabolischen Bahnen, die kein Aphelium haben, thun mufs. Die Alten haben die wahre Anomalie bei den elliptischen Planetenbahnen vom Aphelium an gezählt und daher den Winkel ASM, der zum Bogen ADPM gehört, die wahre Anomalie v' genannt. Demnach ist $v' = v + 180°$, oder da man in allen trigonometrischen Rechnungen die Winkel, welche um volle 360 Grade von einander verschieden sind, nicht weiter unterscheidet, so ist auch $v = v' + 180°$. Will man daher die Ausdrücke der Alten in die der Neuern übersetzen, oder umgekehrt, so wird man blofs die Sinus und Cosinus von v, $3v$, $5v$... negativ nehmen und die Zeichen der Sinus von $2v$, $4v$, $6v$.. ungeändert lassen oder, was noch kürzer ist, man wird blofs die Gröfse e negativ setzen. So hat man, wenn man die mittlere Anomalie gleich m setzt und mit den Neuern vom Perihelium P zählt, für die Gleichung des Mittelpuncts [1], d. h. für den Ausdruck, welcher v giebt, wenn m bekannt ist,

1 S. *Anomalie*. Bd. I. 293.

$$v = m + 2e\,\text{Sin.}\,m + \frac{5}{4}e^2\,\text{Sin.}\,2m + \frac{e^2}{4}\left(\frac{13}{3}\,\text{Sin.}\,3m - \text{Sin.}\,m\right)$$

und für den Radius Vector

$$\frac{r}{a} = e\,\text{Cos.}\,m - \frac{e^2}{2}(\text{Cos.}\,2m - 1) - \frac{e^3}{8}(3\,\text{Cos.}\,3m - 3\,\text{Cos.}\,m).$$

Zählt man aber mit den ältern Astronomen die beiden Anomalien m′ und v′ vom Aphelium A, so wird man blofs in den beiden vorhergehenden Ausdrücken m′ und v′ statt m und v setzen, und e negativ nehmen, also die Zeichen des 2., 4., 6ten Gliedes in die entgegengesetzten ändern. Man sieht zugleich aus diesen Ausdrücken, dafs die Gleichung der Bahn, d. h. dafs die Differenz der beiden Gröfsen v und m oder dafs die Gröfse v — m in den beiden Apsiden P und A verschwindet, dafs also da der wahre Ort des Planeten dem mittlern Orte desselben gleich ist. Auf dem Wege PBA des Planeten von seinem Perihelium zum Aphelium ist die wahre Anomalie gröfser, als die mittlere, oder der Planet ist seinem mittlern Orte voraus, während er im Gegentheile in der andern Hälfte ADP seiner Bahn hinter dem mittlern Orte zurück ist.

Wenn man, wie man soll, die Erde auch als einen Planeten betrachtet, der, wie alle andere, in einer Ellpse sich bewegt, in deren einem Brennpuncte die Sonne ist, so wird auch für ihre Bahn ABPD der der Sonne S nächste Punct P das Perihelium und der entferntste A das Aphelium der Erde heifsen. Allein die Alten setzten bekanntlich voraus, dafs nicht die Erde um die Sonne, sondern dafs umgekehrt die Sonne um die Erde gehe. Nehmen wir also an, dafs S die im Brennpuncte der Ellipse ruhende Erde ist, während die Sonne um sie die Bahn PBAD beschreibt, so wird man von der Erde S die Sonne A zur Zeit ihrer *gröfsten* Entfernung nach der Richtung von S nach A sehn, und dieses ist dieselbe Richtung, in welcher man früher die Sonne S von der Erde P zur Zeit ihrer *kleinsten* Entfernung sah. Die Alten nannten aber Erdferne (*Apogeum*) und Erdnähe (*Perigeum*) diejenigen Puncte der Sonnenbahn, wo die Sonne am meisten und am wenigsten von der Erde entfernt war. Daraus folgt also, dafs das Perigeum der Sonne gleichbedeutend mit dem neuern Aphelium der Erde und dafs das alte Apogeum der Sonne identisch mit dem neuern Perigeum der Erde ist. Für den Anfang

des gegenwärtigen Jahrhunderts ist die Länge des Perihelions der Erde oder des Apogeums der Sonne, wie jenes von der Sonne und dieses von der Erde gesehn wird, gleich 99°36′5″, und diese Länge wächst mit jedem Jahrhunderte um 1° 43′ 21″ in Beziehung auf den Frühlingspunct, von dem wir alle Längen zu zählen anfangen.

Auch die Bahnen der Satelliten sind Ellipsen, in deren einem Brennpuncte der Mittelpunct ihres Hauptplaneten ruht. So hat also auch unser Mond sein Perigeum und Apogeum oder seine Erdnähe und Erdferne. Bei den Monden des Jupiters nennt man den dem Hauptplaneten nächsten Punct der Bahn das Perijovium und den andern ihm entgegengesetzten das Apojovium, übel zusammengesetzte Worte, da sie zwei Sprachen angehören, die aber einmal im Gebrauche sind und, um Verwirrung zu vermeiden, besser beibehalten werden. (Die griechischen Worte, auf welche sich alle vorhergehenden Ausdrücke beziehen, sind nämlich *περὶ*, nahe herum, *ἀπὸ*, weg, *ἥλιος* Sonne, *γῆ* Erde, während Perijovium halb von dem griechischen *περὶ* und halb von dem römischen Worte *Jupiter*, *Jovis* kommt.)

Die Geschwindigkeit der Planeten ist in ihrem Perihelium am grölsten und in ihrem Aphelium am kleinsten. Man sieht dieses schon aus dem vorhergehenden Ausdrucke von v, wenn man ihn differentiirt, wodurch man erhält

$$dv = dm + 2e\,dm.\,Cos.\,m + \ldots$$

Im Perihelium ist $m = 0$, also $dv = (1 + 2e)\,dm$, im Aphelium aber ist $m = 180°$, also auch $dv = (1 - 2e)\,dm$. Genauer noch findet man die Geschwindigkeit durch den Ausdruck

$$c^2 = \mu\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right),$$

wo $\mu = 16{,}84293$ ist und c die Geschwindigkeit des Planeten oder den Weg in geographischen Meilen bezeichnet, welchen der Planet in jedem Puncte seiner Bahn während einer Secunde mittlerer Zeit zurücklegt. Im Perihelium ist $r = a(1-e)$, also die Geschwindigkeit des Planeten

$$c' = \sqrt{\frac{\mu(1+e)}{a(1-e)}}.$$

Im Aphelium aber ist $r = a(1+e)$ und daher die Geschwindigkeit des Planeten

$$c'' = \sqrt{\frac{\mu(1-e)}{a(1+e)}}.$$

Für die Erde hat man $a = 1$ und $e = 0{,}01678$; also ist $c' = 4{,}173$ und $c'' = 4{,}036$. Die gröfste Geschwindigkeit der Erde beträgt daher während einer Secunde im Perihelium 4,173 und die kleinste im Aphelium 4,036 Meilen; der Unterschied zwischen beiden ist nur 0,137 Meilen oder nahe 3130 Par. Fufs, und diese Differenz ist so klein, weil die Excentricität der Erdbahn so gering oder weil die Ellipse, welche die Erde um die Sonne beschreibt, so wenig von einem Kreise verschieden ist.

Ganz anders verhält sich dieses für jene Kometenbahnen, deren Excentricität gegen ihre grofse Axe sehr bedeutend ist oder die in sehr abgeplatteten elliptischen Bahnen um die Sonne laufen. Für den grofsen Kometen des Jahres 1680 hat man z. B. nach Encke's Berechnungen $a = 426{,}774$ Halbmesser der Erdbahn und $e = 0{,}9999854$ in Theilen von a. Mit diesen Gröfsen findet man seine Geschwindigkeit während einer Secunde

im Perihelium $c' = 73{,}577$ Meilen und
im Aphelium $c'' = 0{,}000536$ Meilen oder $12\frac{1}{4}$ Fufs.

Dieser Komet bewegt sich also in seinem Perihelium über 137000mal schneller, als in seiner Sonnenferne. Dafür kömmt er aber auch im Perihelium der Sonne, der eigentlichen Ursache seiner Geschwindigkeit, näher, als uns der Mond. In der That ist dort seine Entfernung vom Mittelpuncte der Sonne $a(1 - e) = 128260$ Meilen, während der Halbmesser der Sonne 93900 Meilen hat, so dafs also der Mittelpunct des Kometen vor der Oberfläche der Sonne in der Entfernung von 34360 Meilen vorübergeht, während die Entfernung des Mondes von der Erde ungefähr 50000 Meilen beträgt. In seinem Aphelium aber beträgt seine Entfernung von der Sonne $a(1 + e) = 17590^{1}000000$ Meilen, also gegen 880mal mehr, als die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne. Sucht man aus diesen wahren Geschwindigkeiten des Kometen die Winkelbewegung desselben in jenen zwei äufsersten Puncten seiner Bahn, so findet man, dafs er, im Perihelium von der Sonne gesehn, während einer Zeitsecunde $118'',324$, also in einer Stunde schon 118,3 Grade zurücklegt. Ein Beobachter auf der Oberfläche der Sonne müfste also damals den Kome-

ten in etwa anderthalb Stunden die ganze ihm sichtbare Hälfte des Himmels mit seiner eignen Bewegung durchfliegen sehn, und umgekehrt einem Beobachter im Mittelpuncte des Kometen müfste der Durchmesser der ihm so ungemein nahen Sonne unter dem Winkel von 95 Graden, also die Hälfte des ihm sichtbaren Himmels bedeckend, erscheinen. Im Aphelium aber erscheint dem Beobachter in der Sonne die Winkelbewegung des Kometen so langsam, dafs er erst in 1840 Tagen um eine einzige Raumsecunde am Himmel fortzurücken scheint, und hier ist die Entfernung der Sonne von ihm so grofs, dafs einem Beobachter auf dem Kometen der Durchmesser der Sonne unter dem sehr kleinen Winkel von 2″, also nur wie ein kleiner Fixstern, erscheint.

Die folgende kleine Tafel gibt die Länge der Perihelien der sieben ältern Planeten für den Anfang unseres Jahrhunderte und die der vier neuen für das Jahr 1831 mit ihren Veränderungen in hundert Jahren.

	Länge des Perihe-liums.			Säculare Aenderung.
Mercur	74°	21′	45″	. . . 5604″
Venus	128	43	53	. . . 4753
Erde	99	36	5	. . . 6201
Mars	332	23	57	. . . 6603
Vesta	249	11	37	. . . 5020
Juno	54	17	13	. . . 5020
Pallas	121	5	0	. . . 5020
Ceres	147	41	23	. . . 5020
Jupiter	11	8	34	. . . 5685
Saturn	89	9	30	. . . 6958
Uranus	167	32	6	. . . 5260

Man sieht hieraus, dafs die Längen aller Perihelien mit der Zeit gröfser werden oder, was dasselbe ist, dafs die grofsen Axen aller Planetenbahnen sich um den Punct S nach der Ordnung der *Zeichen* oder von West gen Ost, in der Richtung von P gen M bewegen. Die Ursache dieser Bewegungen sind die sogenannten Perturbationen oder die Einwirkungen aller übrigen Planeten auf jeden einzelnen. Durch diese Perturbationen werden nicht nur die Lagen der Apsidenlinien, sondern auch die Excentricitäten, die Neigungen,

Digitized by Google

die Knotenlinien und überhaupt alle *Elemente*[1] geändert, blofs die *Gröfse* der Apsidenlinie oder die grofse Axe A P der Bahn ausgenommen, welche immer unveränderlich dieselbe bleibt. Dabei ist noch merkwürdig, dafs die Störungen der Excentricität der Neigungen und Knoten sämmtlich in bestimmte Grenzen eingeschlossen sind, zwischen welchen sie, gleich einem Pendel, auf- und niederschwingen, ohne diese Grenzen selbst zu überschreiten. Es ist bereits oben[2] gesagt worden, dafs LAPLACE die Ursache dieser Erscheinung nachgewiesen und in der geringen Gröfse der Excentricitäten und der Neigungen der Bahnen gegen einander, so wie darin gefunden habe, dafs sie sich alle nach derselben Seite, von West gen Ost, bewegen. Dieser grofse Astronom hat nämlich gefunden, dafs zwischen den Massen m, m′, m″..., den Excentricitäten e, den halben grofsen Axen a, den Neigungen n gegen die Ekliptik und den Längen k, k′, k″.. der Knotenlinien der sämmtlichen Planetenbahnen folgende drei merkwürdige Gleichungen bestehen:

$$\text{Const.} = m e^2 . \sqrt{a} + m' e'^2 . \sqrt{a'} + m'' e''^2 . \sqrt{a''} + \ldots$$

$$\text{Const.} = m \,\text{Tg.}n . \sqrt{a} + m' \,\text{Tg.}n' . \sqrt{a'} + m'' \,\text{Tg.}n'' . \sqrt{a''} + \ldots$$

$$\text{Const.} = m \,\text{Tg.}n \,\text{Sin.}k . \sqrt{a} + m' \,\text{Tg.}n' \,\text{Sin.}k' . \sqrt{a'} + m'' \,\text{Tg.}n'' \,\text{Sin.}k'' . \sqrt{a''} + \ldots$$

Da nun gegenwärtig, unsern Beobachtungen zufolge, die Excentricitäten sowohl, als auch die Neigungen aller Planetenbahnen nur klein sind und da, der Theorie gemäfs, die grofsen Axen a, a′, a″.. völlig unveränderlich sind, so sind die beiden Constanten der zwei ersten Gleichungen nur sehr kleine Gröfsen, und da sie für alle Zeiten als Constanten immer denselben Werth beibehalten müssen, so müssen auch die Gröfsen e, e′.. und n, n′.. immer nur geringe Aenderungen erhalten und sie können nicht ohne Aufhören wachsen oder abnehmen.

Nicht so verhalten sich die Aenderungen, welche die Lage der grofsen Axe oder die Länge der Perihelien erfährt. Zwar gehen auch sie in Perioden von vielen Jahrtausenden bald vor und bald wieder zurück, aber aller dieser Störungen ungeachtet rücken sie doch mit jedem Jahre weiter gegen Ost vor, und es ist dieses im Grunde die einzige *wahre Säcular-*

---

1 S. *Elemente* Bd. III. S. 785.
2 S. *Perturbationen* Bd. VII. S. 447.

gleichung, die es in unserm Sonnensysteme giebt. Der jüngere Herschel[1] sucht von dieser Erscheinung eine gemeinfafsliche Erklärung zu geben, die aber zu umständlich ist, um hier aufgenommen zu werden.

Wenden wir das Gesagte auf unsere Erdbahn an, deren Perihelium im Anfange dieses Jahrhunderts die Länge von 99,6 Graden hatte und dessen Bewegung in hundert Jahren 6201 Secunden beträgt. Diese Bewegung ist gen Ost gerichtet und bezieht sich auf den Frühlingspunct, von welchem die Astronomen alle Längen zu rechnen pflegen. Allein dieser Frühlingspunct ist selbst nicht fest am Himmel, sondern er bewegt sich in einem Jahrhunderte nahe 5021 Secunden und zwar rückwärts oder gegen West[2]. Daraus folgt daher, dafs das Perihelium der Erdbahn während eines Jahrhunderts gegen die Fixsterne, diese als unbeweglich am Himmel angenommen, sich um 6201 weniger 5021, das heifst, um 1180 Secunden gen Ost bewegt oder dafs die siderische östliche Bewegung des Periheliums der Erdbahn in einem Jahrhundert 0,3276 Grade beträgt.

Rechnet man mit dieser Bewegung von 0°,3276 in 100 Jahren zurück in die Zeit, wo die Länge des Perihels Null Grade betrug oder wo das Perihelium in den Ort der Frühlingsnachtgleiche fiel, so findet man für die Zwischenzeit 5800 Jahre, oder mit andern Worten, man findet für diese Epoche das Jahr 4000 vor dem Anfange der christlichen Zeitrechnung. Bezeichnet also der Kreis ♈ ♋ ♎ ♑ die bis an die Fig. 334. Sphäre des Himmels erweiterte Ebene der Erdbahn und ist ♈ in der Länge von 0° das Frühlingsäquinoctium, ♋ in der Länge von 90° das Sommersolstitium, ♎ in der Länge von 180° das Herbstäquinoctium und ♑ in der Länge von 270° das Wintersolstitium der nördlichen Hemisphäre der Erde, so hatte die Erdbahn A M P im Jahre 4000 vor Ch. G. die in der Figur angezeigte Lage, wo S die Sonne im Brennpuncte der elliptischen Erdbahn, P das Perihelium und A das Aphelium dieser Bahn ist. Zu jener Zeit war also die grofse Axe der Erdbahn in der Linie der Nachtgleichen und die kleine Axe derselben mufste, wegen der sehr geringen Excentricität

---

1 Treatise of Astronomy. Lond. 1833.

2 Vergl. *Vorrückung der Nachtgleichen.*

Digitized by

dieser Bahn, sehr nahe in die Solstitiallinie ♋ ♑ fallen. In allen drei hierher gehörenden Figuren durchläuft die Erde während des Frühlings den Winkel ♎S♑, während des Sommers ♑S♈, während des Herbstes ♈S♋ und während des Winters endlich den Winkel ♋S♎. In jener Epoche war also auch die Dauer der kältern Jahreszeit jener der wärmern sehr nahe gleich, da während jener die Erde sich durch ANP und während dieser durch PMA bewegte, welche beide Bogen gleich grofs sind und auch in derselben Zeit von der Erde beschrieben werden, so dafs der Frühling dem Bogen PM, der Sommer dem Bogen MA, der Herbst dem Bogen AN und der Winter endlich dem Bogen NP entsprach und dafs die Erde im Anfange des Frühlings am wenigsten und am Ende des Herbstes am meisten von der Sonne entfernt war. Es mag immer bemerkt werden, dafs die meisten unserer Chronologen die Epoche der Entstehung der Erde in jene Zeit, 4000 Jahre vor Ch. G., gesetzt haben, wo die grofse Axe AP der Erdbahn mit der Aequinoctiallinie ♈♎ zusammenfiel.

Zur Zeit des grofsen griechischen Astronomen Hipparch, das heifst, 140 Jahre vor Ch. G., war die Länge des Perihels der Erde 66 Grade oder der Punct P fiel damals nahe in die Linie Sa. Zu jener Zeit war auch, nach Hipparch's Beobachtungen, die Dauer des Frühlings 94,5 und die des Sommers nur 92,5 Tage, so dafs also der Frühling länger war als der Sommer und ebenso der Herbst kürzer als der Winter, während jetzt das Gegentheil statt findet.

Im Jahre 1250 nach Christo oder zur Zeit Friedrich's II. und des letzten Kreuzzuges unter Ludwig IX. betrug die Länge des Perihels 90 Grade oder die grofse Axe der Erdbahn fiel in die Solstitiallinie ♋ ♐ und hatte daher die Lage, wie die Zeichnung sie darstellt. Die Aequinoctiallinie theilte die Ellipse in zwei ungleiche Theile und die Mitte des kleinern Theils nahm das Perihelium ein. Dieser Theil NPM wurde daher von der Erde, während des Herbstes und Winters der nördlichen Hemisphäre, in einer kürzern Zeit zurückgelegt, als der andere Theil MAN, weil jener Bogen an sich kürzer ist, als der Bogen MAN. Herbst und Winter zusammengenommen waren also damals beträchtlich kürzer, als Frühling und Sommer, obschon der Herbst mit dem Winter, Fig. 335.

sowie auch wieder der Frühling mit dem Sommer, einzeln verglichen, von gleicher Dauer waren.

Gegenwärtig fällt, wie gesagt, das Perihelium in die Länge von 99,6 Graden, also nahe in die Linie S b, so dafs also die Erde bald nach dem Sommersolstitium am 21. Junius am weitesten und bald nach dem Wintersolstitium am 22. December am wenigsten von der Sonne entfernt ist. Da also die Erde im Sommer durch ihr Aphelium geht, wo ihre Geschwindigkeit die kleinste ist, so werden die beiden wärmern Jahreszeiten, Frühling und Sommer, zusammengenommen etwas länger dauern, als die beiden kältern. Die Differenz beträgt $7\frac{1}{10}$ Tage. Jetzt währt nämlich der Frühling 92,9, der Sommer 93,6, der Herbst 89,7, der Winter, als die kürzeste aller vier Jahreszeiten, 89,1 Tage.

Im Jahre 6470 nach Ch. G. endlich wird die Länge des Periheliums 180 Grade betragen oder die Lage der grofsen Axe der Erdbahn wird dann die in der Figur angezeigte seyn. Fig. 336. Dann wird also die kleine Axe M N der Erdbahn mit der Solstitiallinie ♋ ♑ wie im Jahre 4000 vor Ch. G. zusammenfallen, aber die Ellipse selbst wird eine Lage haben, die der von jener frühen Epoche gerade entgegengesetzt ist. Erst 10470 Jahre später oder im J. 16940 nach Ch. G. wird die Erdbahn wieder dieselbe Lage annehmen, welche in der Figur 332. angegeben ist.

L.

Sonnensystem.

Systema solare; Système solaire; *Solar System.*

Eine Sonne mit allen um sie laufenden Weltkörpern bildet ein *Sonnensystem.* Gewöhnlich versteht man aber unter diesem Worte die Anordnung und gegenseitige Stellung der Planeten um unsere Sonne oder auch um die Erde, jenachdem man diese oder jene für den Mittelpunct der Bewegung aller übrigen Planeten hielt. Man unterscheidet in dieser Beziehung vorzüglich vier Systeme, das Ptolemäische, das Aegyptische, das Copernicanische und das des Tycho de Brahe. Das erstere ist blofs in geschichtlicher Hinsicht und darum wichtig, weil es so

Digitized by Google

lange als das wahre angenommen wurde; das zweite und das letzte haben eigentlich nie zu einiger Herrschaft kommen können, wie sie denn dieselbe auch nicht verdienten; das Copernicanische endlich wird jetzt allgemein als das einzig wahre anerkannt und die Richtigkeit desselben ist auch bereits durch so viele Gründe erwiesen, dafs es wohl wenig menschliche Wahrheiten geben mag, die sich einer so grofsen Evidenz zu erfreuen haben, und dafs weiter daran zweifeln nur seine Unkenntnifs des Gegenstandes gestehn heifst.

Ptolemäus, der gegen 150 nach Chr. G. in der Alexandrinischen Schule lebte, hat uns in seinem Werke *μεγάλη σύνταξις*, das bei uns unter seiner arabischen Benennung *Almagest* bekannter ist, sein System oder seine Anordnung der Planeten erhalten. Nach ihm steht die Erde in der Mitte von sieben concentrischen Kreisen oder Sphären. In dem kleinsten, der Erde nächsten Kreise bewegt sich der Mond, in dem nächst gröfsern Mercur, dann Venus, die Sonne, Mars, Jupiter und Saturn. Uranus und die vier neuen Planeten konnte er, als ihm unbekannt, auch nicht in sein System aufnehmen. Ueber dem Kreise Saturns hatte er noch vier andere concentrische Kreise angebracht, in deren erstem, dem Saturn nächsten, sich die Fixsterne bewegten; den zweiten und dritten gebrauchte er, die Erscheinungen der Präcession zu erklären, und der vierte Kreis endlich, der das *Primum mobile* hiefs, hatte den Auftrag erhalten, alle andern zehn kleinern Kreise mit sich täglich von Ost gen West um die Erde zu führen, während zugleich jeder einzelne Planet in der ihm angewiesenen Peripherie seines Kreises während seines Jahres von West gen Ost um die Erde laufen sollte. Nach diesem Systeme steht also die Erde im Mittelpuncte aller dieser Kreise fest und die Planeten, sammt der Sonne und dem Monde, bewegen sich in der angezeigten Ordnung um dieselbe täglich gemeinschaftlich gen West und jährlich jeder mit seiner eignen Bewegung gen Ost. Ueber die Distanzen oder die Halbmesser dieser Kreise sprach er sich nirgend in seinem Werke bestimmt aus. Um aber mehrere grofse Ungleichheiten, welche man damals schon in der Bewegung der Sonne, des Mondes und der Planeten bemerkte, einigermafsen wenigstens zu erklären, verrückte er die meisten dieser Kreise so, dafs die Erde aufserhalb des Mittelpunctes derselben zu stehen kam. Fig. 337.

Digitized by Google

Diese Kreise nannte er dann *excentrische Kreise.* Da er aber dadurch die Bewegungen, besonders die des Mondes, noch nicht genau genug darstellen konnte, so nahm er noch andere kleinere Kreise zu Hülfe, deren Mittelpuncte er auf den Peripherieen von jenen excentrischen Kreisen laufen liefs, während der Planet selbst sich in der Peripherie dieses kleinern Kreises bewegen sollte. Diese kleinern Kreise nannte er *Epicykel* (von ἐπὶ auf und κύκλος Kreis), und er wendete beim Monde selbst mehrere solcher Epicykel an, von welchen der Mittelpunct eines jeden immer auf der Peripherie des nächstvorhergehenden einherging, während der Mond selbst sich in der Peripherie des äufsersten dieser Epicykel bewegte[1].

Es wird nicht nöthig und auch diesem Orte nicht angemessen seyn, das Falsche in diesem Systeme umständlich anzuführen. Es hat bis zum Anfange des sechzehnten Jahrhunderts als das wahre geherrscht und gehört jetzt, wo man über seinen Werth längst einig ist, nun mehr der Geschichte der Astronomie an.

Mehrere Nachfolger des Ptolemäus in der alexandrinischen Schule erkannten wenigstens zum Theil das Fehlerhafte dieses Systems, besonders in der Anordnung der beiden Planeten Mercur und Venus. Sie hatten nämlich bemerkt, dafs man diese beiden Planeten immer nur in der Nähe der Sonne sieht und nie ihr gegenüber, wie die andern Planeten. Im Ptolemäischen Systeme aber müfste man alle Planeten ohne Ausnahme zuweilen der Sonne gegenüber oder in Opposition erblicken. Um dieses zu berücksichtigen, nahmen sie immer noch die Erde in der Mitte der meisten jener Kreise in Ruhe an und liefsen ihr zunächst den Mond und in einem zweiten gröfsern Kreise auch die Sonne um die Erde gehn. Um diese in ihrer Peripherie bewegliche Sonne aber liefsen sie Mercur und Venus in eignen kleinern Kreisen laufen, so dafs diese beiden Planeten sich unmittelbar um die Sonne und durch diese mittelbar sich um die Erde bewegten. Die übrigen Planeten, Mars, Jupiter und Saturn, gingen dann, sowie oben der Mond und die Sonne, in noch gröfsern Kreisen wieder um die im Mittelpuncte dieser Kreise ruhende Erde.

Fig. 338.

---

1 Vergl. *Epicykel.* Bd. III. S. 797.

Man kann es auffallend finden, dafs die alten Griechen, die uns doch in den Werken des Hipparch, dessen grofse und schöne Entdeckungen durch Ptolemäus auf uns gekommen sind, des Archimedes, Apollonius u. A. so viele Beweise ihres Scharfsinns gegeben haben, nicht im Stande gewesen sind, die wahre Anordnung unsers Planetensystems zu finden. Aber noch viel mehr mufs man sich verwundern, wenn man einen sonst in der That sehr ausgezeichneten Astronomen, Tycho de Brahe (geb. 1546, gest. 1601), mit einem ebenfalls ganz falschen Systeme und zwar zu einer Zeit auftreten sieht, wo das wahre bereits von Copernicus entdeckt war, das wahre, das zugleich so einfach ist und das alle in den frühern Systemen unerklärbaren Erscheinungen so klar und überzeugend darstellt, dafs es sofort alle besseren Geister auf seine Seite bringen mufste. Tycho allein unter diesen Bessern, denn was die übrigen Gegner des Copernicus betrifft, so sind sie längst der verdienten Vergessenheit übergeben, Tycho allein erklärte sich dagegen, sey es nun, dafs er durch die religiösen Ansichten seiner Zeit oder durch seine Eitelkeit, der Entdecker eines neuen Weltsystems zu heifsen, dazu bewogen wurde. Immer schien er von den Vorurtheilen seines Jahrhunderts befangen und die auch seinem Geiste ohne Zweifel klare Wahrheit galt ihm weniger, als eine sehr übel begründete und nicht einmal völlig verstandene Autorität. Nach seiner Ansicht durfte die Erde keine Bewegung, weder um sich selbst, noch auch um die Sonne, haben. Er stellte daher diese Erde, wie die Alten, wieder in den Mittelpunct des Weltalls und liefs um sie zunächst den Mond und in einem gröfsern Kreise auch die Sonne sich bewegen, so dafs die Erde den Mittelpunct dieser zwei concentrischen Kreise einnahm. Diese Sonne aber bildete zugleich den beweglichen Mittelpunct der Kreise aller übrigen Planeten, so dafs also die sämmtlichen Planeten unmittelbar um die Sonne und durch die Sonne mittelbar um die Erde liefen. Fig. 339.

Nicolaus Copernicus (geb. 1472, gest. 1543) lehrte uns endlich die wahre Anordnung der Planeten unsers Sonnensystems kennen. Nach demselben ruht die Sonne im gemeinschaftlichen Mittelpuncte mehrerer concentrischer Kreise, in welchen sich zunächst Mercur, dann Venus, die Erde, Mars, Jupiter und Saturn bewegen, wie es die Zeichnung darstellt. Fig. 340.

Digitized by Google

Der Mond bewegt sich in einem kleinen Kreise, dessen Mittelpunct die Erde ist, um dieselbe und ebenso bewegen sich auch die Monde der übrigen Planeten in Kreisen, deren Mittelpuncte ihr Hauptplanet einnimmt.

Copernicus machte dieses System in seinem unsterblichen Werke: *De revolutionibus orbium coelestium*, Nürnberg 1543, also in seinem Todesjahre bekannt und jetzt giebt es wohl keinen Verständigen, der an der Wahrheit desselben zweifeln könnte.

Bemerken wir noch, dafs schon mehrere griechische Philosophen, wie Philolaus von Crotona, Nicetas u. a., bereits ähnliche Meinungen, wie die des Copernicus, über die Anordnung der Planeten um die Sonne aufgestellt hatten, dafs dieses aber auch nur Meinungen waren, die alles Beweises ermangelten und daher auch weder Eingang finden, noch Folgen haben konnten. Copernicus aber sprach seine Ansicht nicht als eine Meinung, sondern als ein Theorem aus, das er durch die besten Gründe und durch unmittelbare Beobachtungen bewies und über allen Zweifel erhob, so dafs das, was früher nur ein vages Philosophem, eine inhaltleere Diatribe war, jetzt als eine mathematische, durch Rechnung erwiesene Wahrheit erschien. Alle frühern Systeme sind aus unförmlichen Stücken zusammengesetzt, mit excentrischen Kreisen, Epicykeln u. dgl. überladen, während hier alles einfach und symmetrisch erscheint. Dort wuchsen die Schwierigkeiten mit jeder neuen bessern Beobachtung, während hier jede neue Beobachtung, jede bisher unbekannte Entdeckung auch zugleich eine weitere Bestätigung der Wahrheit des aufgestellten Systems ist, wie es denn z. B. durch die Entdeckung der Aberration[1] des Lichts so viel Zeugen seiner innern Wahrheit erhalten hat, als es Sterne am Himmel giebt.

Durch diese Entdeckung, und dieses ist eine ihrer glänzendsten Seiten, gewann die ganze Wissenschaft der Astronomie eine neue Gestalt oder vielmehr die Astronomie wurde erst durch diese Entdeckung in den Stand gesetzt, ihrer wahren Vollendung mit raschem Schritte entgegen zu gehn; denn so lange man nicht wufste, dafs die Erde selbst ein Planet ist, die sich, gleich allen übrigen Planeten, um die ruhende

1 S. *Abirrung*. Bd. I. S. 15.

Sonne bewegt, war es unmöglich, die wahre Ursache der Bewegungen der himmlischen Körper auch nur von fern zu erkennen. So lange die Erde still stand, mufste auch die Astronomie still stehn. Aber plötzlich wurde durch diese Entdeckung die so lange für uns verschlossene Bahn geöffnet und da, wo sonst nichts als Finsternifs war, verbreitete sich schnell das helle Licht der Wahrheit und der allseitigen Erkenntnifs. Seit jener für immerwährende Zeiten denkwürdigen Epoche erzeugte eine Kenntnifs, eine Entdeckung die andere in stetem, ununterbrochenem Fortgange bis auf unsere Tage. Denn das ist das unterscheidende Kennzeichen der Wahrheit, dafs sie nicht allein und unfruchtbar da steht, sondern dafs sie immer im Gefolge von andern mit ihr verwandten Wahrheiten auftritt und, gleich einem Lichtstrahle, die ganze Umgegend erleuchtet und, nach allen Seiten hin neue Gegenstände sichtbar macht, die früher in der Nacht der Unwissenheit oder, was oft noch schlimmer ist, in der Dunkelheit des rrthums begraben lagen. *L.*

Sonnenuhr.

Solarium, Horologium solarium; Cadran solaire; *Dial, Sun-Dial.*

Da dieses interessanten Gegenstandes im Art. *Gnomonik* nur in historischer Beziehung und auch da nur mit einigen Zeilen gedacht wurde, so erscheint es angemessen, hier das Vorzüglichste über die Construction und den Gebrauch der Sonnenuhren kurz nachzutragen.

Der Grund aller unserer Zeitabtheilungen ist der tägliche scheinbare Umlauf der Sonne um die Erde und man hat daher ohne Zweifel schon in den frühesten Jahrhunderten die durch jenen Umlauf der Sonne veränderliche Lage des Schattens, welche die von der Sonne beschienenen Körper hinter sich werfen, zur Zeitbestimmung angewendet. Die *Gnomonik* lehrt, wie man auf jeder ebenen oder krummen Fläche die Schattenlinien irgend eines seiner Lage nach gegebenen Körpers, z. B. eines in dieser Fläche befestigten Stiftes, für jede bestimmte Tagesstunde finden oder auf dieser Fläche verzeichnen soll.

Diese Aufgabe in ihrer gröfsten Allgemeinheit genommen ist nicht wenig complicirt, da die verlangte Construction einer Sonnenuhr für jede gegebene krumme Fläche, auf welcher sie verzeichnet werden soll, z. B. für eine Ebene, für eine Kugel, für einen Cylinder u. s. w., immer eine andere wird, da ferner auch die Stellung dieser Fläche, z. B. des Kegels, gegen den Aequator, da die Lage des Stiftes gegen jene Fläche und da endlich auch die geographische Lage des Orts, in welchem man die Uhr errichten will, auf die Zeichnung derselben einen wesentlichen Einflufs äufsern. Wir wollen sehn, wie man sich von allen oder doch von den meisten dieser Forderungen unabhängig machen und wie man auf jedem gegebenen Orte der Oberfläche der Erde und auf jeder gegebenen Fläche ohne viele Mühe und Vorkenntnisse eine Sonnenuhr mit aller für solche Vorrichtungen erforderlichen Genauigkeit verzeichnen kann.

Bemerken wir zuerst, dafs die ungemein grofse Entfernung der Sonne von der Erde (über zwanzig Millionen deutsche Meilen) uns erlaubt, jeder Punct der Oberfläche der Erde, ohne merkbaren Fehler, für den Mittelpunct derselben anzunehmen, und dafs zweitens die Sonne ihren Winkelabstand vom Aequator[1] so wenig ändert, dafs man, ebenfalls ohne beträchtlichen Fehler, annehmen kann, sie bewege sich während des Laufes eines jeden Tages parallel mit dem Aequator, d. h. sie bewege sich täglich um die Erde in einem Kreise, dessen Mittelpunct irgend ein Punct der Erdaxe ist und dessen Ebene daher auf dieser Axe senkrecht steht. Dieses vorausgesetzt wird also der Schatten, welchen diese Erdaxe, wenn sie von der Sonne beschienen wird, hinter sich wirft, in dem Laufe eines Tages in gleichförmiger Bewegung um diese Axe herumgehn und in jeder Stunde immer denselben Winkel um diese Axe zurücklegen, und dasselbe wird also auch, wegen der so eben erwähnten grofsen Entfernung der Sonne, für jeden Stab oder Stift auf der Oberfläche der Erde der Fall seyn, wenn nur dieser Stab so gestellt wird, dafs er mit der Erdaxe eine parallele Lage erhält.

Das Erste und Wichtigste also, wodurch die Construction der Sonnenuhren sehr vereinfacht wird, ist, dafs der Stift,

1 S. *Abweichung*. Bd. I. S. 128.

durch dessen Schatten man die Zeit messen will, mit der Weltaxe parallel gestellt werde, dafs er also in der Ebene der Mittagsfläche und zwar so befestigt werde, dafs er in dieser Ebene mit dem Horizonte des Ortes einen Winkel mache, welcher der Polhöhe, d. h. der *geographischen Breite* dieses Ortes, gleich ist. Wie man aber die Mittagsfläche finden kann, ist in dem Art. *Mittagslinie* gezeigt worden.

Dieses vorausgesetzt wollen wir auf irgend einer metallenen oder steinernen Platte in einem Puncte C derselben einen auf diese Platte senkrechten Stift errichten, dann aus C als Mittelpunct mit irgend einem Halbmesser einen Kreis beschreiben und denselben in 24 gleiche Theile theilen. Stellt man dann diese Platte so auf, dafs der Halbmesser CA in die Mittagsfläche fällt, also A gegen Süd gerichtet ist, und dafs die Platte mit dem Horizonte, z. B. mit einem horizontal gestellten Tische, einen der *Aequatorhöhe* gleichen Winkel macht, so hat man eine sogenannte *Aequinoctialuhr*, die einfachste von allen Sonnenuhren. Die Vormittags- oder Morgenstunden 6, 8, 10, 12.. werden auf der Westseite M der Uhr, die Abendstunden aber auf der Ostseite N derselben verzeichnet. Ein solcher blofs in gleiche Theile getheilter und mit einem senkrechten Stifte versehener Kreis wird an allen Orten der Erde die wahre *Sonnenzeit* angeben, wenn man nur die Platte gegen den Horizont des Orts um die Aequatorhöhe desselben neigt und die Schattenlinie CA des Mittags oder, was dasselbe ist, den Stift der Uhr in die Mittagsfläche bringt, wo nämlich dann die Uhrplatte dem irdischen Aequator und der Stift der Erdaxe parallel seyn wird. Fig. 341.

Mit einer solchen Aequinoctialuhr, deren Verfertigung, wie man sieht, ebenso leicht als sicher ist, wird man nun auch ohne weitere Mühe eine sogenannte *Horizontaluhr* verzeichnen können. Sey FG eine horizontale Platte, auf welcher man die letztgenannte Uhr construiren will. Man stelle auf dieser Platte die bereits verzeichnete Aequinoctialuhr BDE mit ihrem Stifte ACE gehörig d. h. also so auf, dafs der Stift ACE in der Mittagsfläche liegt und gegen die horizontale Platte um die geographische Breite des Ortes geneigt sey, wo dann die Ebene der Aequinoctialuhr von selbst dem irdischen Aequator parallel stehen wird. Sind nun a, b, c.. die Puncte der Aequinoctialuhr, welche den Morgenstunden 12, Fig. 342.

9, 8.. Uhr entsprechen, so wird man blofs die Halbmesser Ca, Cb, Cc... dieser Puncte verlängern müssen, bis sie die horizontale Platte FG treffen, und dann diese Durchschnittspuncte mit dem Puncte A der Platte, in welcher sie von dem Stifte der Aequinoctialuhr getroffen wird, durch die geraden Linien AXII, AIX, AVIII... zu vereinigen haben, um die gesuchte Horizontaluhr zu erhalten, in welcher man nur ihren Stift genau in der Lage AC des Aequinoctialstiftes im Puncte A befestigen mufs. Eine solche Uhr wird dann, wenn sie von der Sonne beschienen wird, alle Stunden des Tages anzeigen, wenn sie so gestellt wird, dafs die Schattenlinie AXII des Mittags in die Mittagsfläche fallt und dafs die Platte FG horizontal ist.

Da diese Horizontaluhren eigentlich die gewöhnlichsten und auch die bequemsten unter allen Sonnenuhren sind, so wird es angemessen seyn, die Construction derselben auch ohne Hülfe einer Aequinoctialuhr zu zeigen. Zu diesem Zwecke ziehe man also auf der gewählten Platte eine gerade Linie Fig. 343. CS, welche die Mittagslinie vorstellen soll. Durch irgend einen angemessenen Punct C dieser Linie ziehe man die Linie CP von willkürlicher Länge so, dafs sie mit der Mittagslinie CS den Winkel PCS gleich der Polhöhe des Ortes bilde. Im Puncte P dieser Linie errichte man auf CP eine Senkrechte PR, welche die Mittagslinie in dem Puncte R schneidet. Von diesem Puncte R nehme man dann auf der Mittagslinie die gerade RS gleich RP und ziehe aus S als Mittelpunct den vierten Theil eines Kreises RT, dessen Peripherie man in sechs gleiche Theile theilt. Verlängert man dann die Halbmesser dieser Theilungspuncte, bis sie die durch R auf CS senkrechte Linie in den Puncten a, b, c.. schneiden, und verbindet man endlich diese Durchschnittspuncte a, b, c..... mit dem erwähnten Puncte C durch die geraden Linien CR, Ca, Cb, Cc....., so sind diese geraden Linien die gesuchten Schattenlinien der Horizontaluhr für die einzelnen Vormittagsstunden. Es ist für sich klar, dafs man auf der andern Seite der Linie CS nur die Distanzen Ra′ = Ra und Rb′ = Rb... nehmen darf, um auch die Schattenlinien der entsprechenden Abendstunden zu erhalten, so wie man auch die halben und Viertel-Stunden erhält, wenn man den erwähnten Quadranten RT statt in 6 in 12 oder in 24 glei-

che Theile eintheilt. Errichtet man dann im Puncte C einen Stift, so dafs er mit der Linie CS einen der Polhöhe gleichen Winkel macht, und stellt man die so verzeichnete Platte horizontal und so, dafs die Linie CS in die Mittagslinie des Ortes fällt, so wird diese *Horizontaluhr* die Stunden der wahren Sonnenzeit und ihre Unterabtheilungen gehörig anzeigen.

Da es für die Leser angenehm seyn mufs, sich von dieser einfachen Verzeichnung Rechenschaft zu geben, so wollen wir die Polhöhe des Ortes durch φ, den Stundenwinkel der Sonne durch s und endlich den ihm entsprechenden Stundenwinkel der Horizontaluhr durch m bezeichnen, so dafs demnach der Winkel $SCP = \varphi$, $CSa = s$ und $SCa = m$ ist. Nimmt man nun die Linie CP, deren Länge, wie gesagt, willkürlich ist, zur Einheit an, so ist, da $CPR = 90°$ ist,

$$CR = \frac{1}{\text{Cos.}\,\varphi} \text{ und } PR = RS = \text{Tang.}\,\varphi.$$

Allein nach der so eben erwähnten Construction ist

$$Ra = RS \text{ Tang. s und zugleich } Ra = CR \text{ Tang. m,}$$

also ist auch, wenn man beide Werthe von Ra gleich setzt,

$$\text{Tang. m} = \frac{RS}{CR}.\ \text{Tang. s}$$

oder endlich, wenn man die vorhergehenden Werthe von RS und CR substituirt,

$$\text{Tang. m} = \text{Sin.}\,\varphi\,.\,\text{Tang. s.}$$

Dieser einfache Ausdruck

$$\text{Tang. m} = \text{Sin.}\,\varphi\,.\,\text{Tang. s}$$

giebt noch ein leichteres und bequemeres Mittel, eine Horizontaluhr für jeden Ort, dessen Polhöhe φ gegeben ist, zu verzeichnen. Man zieht nämlich auf der zur Uhr bestimmten Platte eine willkürliche Gerade CS und darauf eine Senkrechte AB. Nimmt man nun die Gerade CS als Einheit an, so giebt der gefundene Ausdruck, wenn man in ihm s gleich 0°, 15°, 30°, 45°.. setzt, die Tangenten der Winkel der Mittagslinie CS mit den Schattenlinien CI, CII, CXI, CX.. der Uhr, d. h. die gesuchten Puncte der Linie AB, die mit C vereinigt die Schattenlinien der Uhr geben. Fig. 344.

Um endlich auch dieser, obschon sehr einfachen, Berechnung der vorhergehenden Formel durch die bekannten Logarithmentafeln überhoben zu seyn, kann man sich folgender Tafel ohne alle Rechnung bedienen, die ganz Deutschland um-

Digitized by Google

fafst und für jede Viertelstunde die Werthe der Linien S a = S a′, S b = S b′..... giebt, vorausgesetzt dafs die Linie C S in 1000 gleiche Theile eingetheilt wird. So hat man z. B. für Breslau, dessen Polhöhe nahe 51° ist, folgende Distanzen der Puncte a, b... oder a′, b′... von S.

	Distanz S a = S a′
für 0 Uhr oder Mittag	0
1 Uhr Abends oder 11 Uhr Morgens . . .	208
2 Uhr Abends oder 10 Uhr Morgens . . .	449
3 Uhr Abends oder 9 Uhr Morgens . . .	788 u. s. w.

Digitized by Google

Polhöhen.

Stunden	45°	46°	47°	48°	49°	50°	51°	52°	53°	54°	55°
0 0′	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	46	47	48	49	49	50	51	52	52	53	54
30	93	95	96	98	99	101	102	104	105	106	108
45	141	143	145	148	150	152	155	157	159	161	163
1 0	189	193	196	199	202	205	208	211	214	217	219
15	240	244	248	252	256	260	264	267	271	275	278
30	293	298	303	308	313	317	322	326	331	335	339
45	349	355	361	366	372	378	383	389	394	399	404
2 0	409	415	422	429	436	442	449	455	461	467	473
15	472	481	489	497	504	512	519	526	534	541	547
30	543	552	561	570	579	588	596	605	613	621	629
45	620	631	641	652	662	672	681	691	700	709	718
3 0	707	719	731	743	755	766	777	788	799	809	819
15	806	820	834	847	861	873	886	899	911	922	934
30	921	937	953	968	984	998	1013	1027	1041	1054	1067
45	1058	1076	1094	1112	1129	1146	1163	1179	1195	1211	1226
4 0	1225	1246	1267	1287	1307	1327	1346	1365	1383	1401	1419
15	1434	1459	1483	1507	1530	1553	1576	1598	1619	1640	1661
30	1707	1737	1765	1794	1822	1849	1876	1902	1928	1953	1978
45	2083	2119	2154	2189	2223	2257	2289	2321	2353	2383	2413
5 0	2639	2684	2729	2773	2817	2859	2900	2940	2981	3019	3057
15	3555	3616	3677	3736	3794	3851	3907	3962	4015	4067	4118
30	5371	5464	5555	5645	5733	5819	5903	5985	6066	6145	6222
45	10788	10975	11158	11338	11515	11688	11857	12023	12184	12343	12498

Digitized by Google

Diese Tafel reicht vollkommen hin, für alle Orte in Deutschland eine ganz genaue Sonnenuhr ohne alle Rechnung und ohne weitere Vorkenntnisse der Mathematik oder Astronomie zu verfertigen. Es bedarf keiner Erinnerung, dafs die Schattenlinien der Vormittagsstunden auf die andere Seite der Linie CS fallen und dafs für Stundenwinkel, die gröfser als 6 Uhr sind, die Schattenlinien blofs die Verlängerungen der vorhergehenden sind.

Wenn man aber eine solche Horizontaluhr nach einer der vorhergehenden Methoden mit Genauigkeit auf einer beweglichen Tafel verzeichnet hat, so ist es leicht, mittels ihrer Hülfe nun auch eine Sonnenuhr auf irgend einer andern geraden oder krummen Fläche zu entwerfen, ohne zu weitern Berechnungen seine Zuflucht zu nehmen, die hier in den meisten Fällen complicirter sind, als dafs man nicht ein graphisches Verfahren vorziehen sollte, das, mit Sorgfalt ausgeführt, dieselbe, wo nicht eine gröfsere Schärfe gewährt.

Nehmen wir z. B. an, wir hätten auf der Fläche eines Daches oder auf der senkrechten Mauer eines runden oder wie immer gestalteten Thurms eine Sonnenuhr zu verzeichnen. Zu diesem Zwecke wird man die nach dem Vorhergehenden in einem so viel als möglich grofsen Mafsstabe und mit Genauigkeit verfertigte Horizontaluhr vor dieser Mauer des Thurmes, etwa auf einem festen Tische, in der gehörigen Lage aufstellen, so dafs ihre Ebene genau horizontal und ihre mittägige Schattenlinie in die Mittagsfläche des Ortes fällt. Verlängert man dann etwa durch in dem Puncte C befestigte, gespannte Fäden den Stift der Horizontaluhr, bis er die Wand des Thurmes trifft, so wird dieser Faden den *Fufspunct* des Stiftes der neuen Uhr in der Wand und auch zugleich die *Lage* dieses neuen Stiftes angeben, in welcher er daher an der Thurmwand befestigt werden mufs. Verlängert man dann durch denselben Faden auch die bereits durch denselben Punct C gezogenen Schattenlinien der Horizontaluhr, bis auch sie die Wand des Thurmes in bestimmten Puncten treffen, so wird man diese Puncte mit dem vorhin gefundenen Fufspuncte des neuen Stiftes vereinigen und auf diese Weise sofort auch die Schattenlinien der neuen Uhr erhalten. Auch kann man, wenn der neue Stift bereits in seiner gehörigen Lage befestigt ist, den Schatten desselben auf der Wand des Thurmes für

Digitized by Google

diejenigen Augenblicke durch eine Bleifeder u. dgl. bemerken, wo die Horizontaluhr die bestimmten Stunden des Tages anzeigt, wenn sie eben von der Sonne beschienen ist. Ja selbst die Sonne läfst sich dabei ganz entbehren und die Schattenlinien der neuen Uhr können mit Hülfe einer Lampe bei Nacht gezeichnet werden, wenn man dieselbe so stellt, dafs der Schatten des von der Lampe erleuchteten alten Stifts nach und nach auf die verschiedenen Stunden der Horizontaluhr fällt, wo dann der gleichzeitige Schatten des neuen Stifts auch die entsprechenden Schattenlinien der Thurmwand geben wird. Am besten wird man sich dazu einer Lampe bedienen, deren Oeffnung mit einer biconvexen Glaslinse versehen ist, die in der Entfernung ihrer Brennweite von der Flamme der Lampe steht, wo dann die durch sie gebrochenen Lichtstrahlen *unter sich parallel* auf die beiden Uhrflächen fallen, wie dieses bei den Sonnenstrahlen ebenfalls statt hat, die wegen der so grofsen Entfernung der Sonne von der Erde als unter sich parallel angenommen werden.

So lange die Sonnenuhren blofs auf Ebenen, z. B. auf verticalen Mauern, verzeichnet werden, wird die Construction derselben von dem Winkel abhängen, welchen diese verticale Ebene mit der Mittagslinie des Ortes macht. Man pflegt daher auch diese Uhren je nach diesem Winkel in verschiedene Arten einzutheilen. Das Vorhergehende macht diese Eintheilungen überflüssig, daher sie hier nur kurz erwähnt werden sollen, da ihrer noch in so vielen Schriften über diesen Gegenstand ausdrücklich gedacht wird.

Mittagsuhr heifst eine Sonnenuhr dann, wenn ihre auf den Horizont verticale Ebene auch zugleich auf der Mittagslinie des Ortes senkrecht steht oder wenn die Wand derselben genau von Ost nach West geht. Haben die Gröfsen φ, s und m die vorige Bedeutung, so ist für solche Uhren

$$\text{Tang. m} = \text{Cos.}\varphi\,.\,\text{Tang. s},$$

durch welche Formel sich die Mittagsuhr unabhängig von andern und vollständig construiren läfst. Eine solche Uhr zeigt im Herbst und Winter den ganzen Tag, so lange, als die Sonne scheint, die Stunden des Tages, im Frühling und Sommer aber nur während derjenigen Tageszeit, wo die Sonne auf der Südseite des Ost- und Westpunctes steht, so dafs also die ersten Morgen- und die letzten Abendstunden auf

einer solchen Uhr im Sommer nicht mehr gesehn werden können, wenn nicht auch die hintere Seite der Mauer von der Sonne beschienen werden kann, wo dann eine *Mitternachtsuhr* erforderlich ist, die auf gleiche Weise construirt im Sommer nur die äufsersten Morgen- und Abendstunden, im Winter aber gar nichts zeigt, weil die Nordfläche einer solchen Wand im Winter von der Sonne nicht beschienen wird.

Eine *Morgenuhr* entsteht dann, wenn die verticale Wand in der Mittagsfläche steht, also gen Ost gekehrt ist. Die Rückseite einer solchen Wand, die gen West gewendet ist, wird eine *Abenduhr* enthalten können. Jene zeigt die Stunden vom Aufgange der Sonne bis zum Mittag und diese vom Mittag bis zum Untergange, die Stifte dieser beiden Uhren werden senkrecht auf die Uhrebene oder auf die Wand und zugleich senkrecht auf die Schattenlinie der 6ten Stunde gestellt.

Die letzterwähnten vier Sonnenuhren werden gewöhnlich auf den vier senkrechten Seiten eines Würfels und zugleich eine Horizontaluhr auf die obere Seite desselben verzeichnet. Solche Uhren, wenn sie anders richtig construirt sind, lassen sich sehr leicht in die gehörige Stellung bringen. Man darf nämlich nur den Würfel gegen die Sonne so lange verrücken, bis die Stifte derjenigen unter den fünf Uhren, die *zugleich* von der Sonne beschienen sind, *dieselbe* Stunde angeben, die dann auch sofort die gesuchte wahre Sonnenzeit ist.

Auch kann man alle bisher erwähnte Sonnenuhren durch einen Cylinder mit kreisförmiger Basis darstellen, dessen Axe Fig. 845. P p gegen den Horizont unter dem Winkel der Polhöhe des Ortes geneigt ist. In dieser Lage stellt die über den Cylinder zu beiden Seiten hervorragende Axe P p zugleich die Stifte aller jener Uhren vor. Theilt man die beiden Grundflächen des Cylinders in 24 gleiche Theile, so hat man die obere und untere Aequinoctialuhr, von welchen jene in den Sommer- und diese in den Wintermonaten beschienen wird, wo dann für jene der hervorragende obere Theil P der Axe, für diese aber der untere Theil p derselben zugleich den Stift dieser beiden Aequinoctialuhren vorstellt. Denkt man sich nun die zusammengehörenden Schattenlinien dieser beiden Uhren durch Ebenen verbunden, die den Cylinder seiner Länge nach und sich selbst alle in der Axe P p des Cylinders durchschneiden, so kann man den Cylinder erstens durch eine ho-

Digitized by Google

rizontale Ebene A′C′B′ schneiden und es entsteht in diesem Schnitte die *Horizontaluhr*, wo C′ der Fufspunct ihres Stiftes C′P ist. Man kann ihn aber auch zweitens durch eine verticale Ebene A″C″B″ schneiden, wodurch in diesem Schnitte auf der untern Seite bei p die *Mittagsuhr* und auf der obern bei P die *Mitternachtsuhr* entsteht, deren Stifte C″p und C″P sind. Schneidet man aber den Cylinder durch eine Ebene, die durch die Axe Pp desselben und durch die Mittagsschattenlinie der beiden Aequinoctialuhren geht, so erhält man die *Morgen-* und *Abenduhr*. Und ebenso kann man auch jede andere, gegen die Mittagslinie und selbst gegen den Horizont wie immer geneigte Uhr erhalten, wenn man den Cylinder durch eine andere Ebene schneidet, welche die geforderte Lage der Wand hat, auf welcher man die Sonnenuhr verzeichnen will.

Auch durch die Analyse kann man und zwar mit viel gröfserer Genauigkeit die Schattenlinien einer Sonnenuhr auf einer jeden gegebenen Ebene sehr leicht verzeichnen, worin eigentlich das Hauptgeschäft der Construction einer solchen Uhr besteht. Nehmen wir an, dafs diese Ebene, z. B. die eines Daches, gegen den Horizont um den Winkel n geneigt sey und dafs die Durchschnittslinie dieses Daches mit dem Horizonte gegen die Mittagslinie um den Winkel x gegen West abweiche, so dafs man den Winkel n von Nord gegen Süd uud den Winkel x von Süd gen West zählt. Ist nun der Stift bereits nach seiner gehörigen Lage oder mit der Weltaxe parallel in der Uhrebene befestigt, so lege man durch diesen Stift eine auf die Wand des Daches senkrechte Ebene. Diese Ebene wird diese Wand in einer geraden Linie schneiden, welche wir die *Substilarlinie* der Uhr nennen und von welcher an wir die Winkel der Schattenlinie der Uhr zählen wollen.

Wenn nämlich die Uhrebene des Daches horizontal läge, so würde man, wie oben für eine Horizontaluhr, den einfachen Ausdruck haben:

$$\text{Tang. m} = \text{Sin. } \varphi \,.\, \text{Tang. s},$$

wo φ die Polhöhe des Orts, s der Stundenwinkel der Sonne und m der Winkel der Schattenlinie mit der Substilarlinie ist, welche letztere hier zugleich die Schattenlinie des Mittags bezeichnet. Allein die Uhrebene unseres Daches ist weder parallel mit dem Horizonte, noch auch auf ihm senkrecht, son-

dern sie ist gegen den Horizont um den Winkel n und gegen die Mittagslinie um den Winkel $\varkappa$ geneigt. Welche aber auch diese beiden Winkel seyn mögen, so mufs es doch irgendwo auf der kugelförmigen Erde einen Ort geben, für welchen jene Uhrebene unseres Daches, wenn sie in derselben Lage dorthin gebracht wird, genau horizontal seyn würde. Sey φ' die Polhöhe und λ' die geographische Länge dieses Ortes in Beziehung auf unsern gegebenen Ort. Diese Gröfsen φ' und λ' findet man aber sehr leicht aus der Betrachtung eines sphärischen Dreiecks PAB, in welchem P den Pol des Aequators, Fig. 846. A den gegebenen und B den gesuchten Ort der Erdoberfläche bezeichnet. In diesem Dreiecke sind nämlich die drei Seiten

$$PA = 90° - \varphi,\ PB = 90° - \varphi' \text{ und } AB = n.$$

Für die Winkel aber hat man

$$A = 90° - \varkappa \text{ und } P = \lambda'.$$

Dieses Dreieck giebt demnach, dem bekannten Ausdrucke der sphärischen Trigonometrie gemäfs,

$$\text{Sin.}\,\varphi' = \text{Cos.}\,n\,\text{Sin.}\,\varphi + \text{Sin.}\,n\,\text{Cos}\,\varphi\,\text{Sin.}\,\varkappa \text{ und}$$

$$\text{Tang}\,\lambda' = \frac{\text{Tang.}\,n\,\text{Cos.}\,\varkappa}{\text{Cos.}\,\varphi - \text{Sin.}\,\varphi\,\text{Sin}\,\varkappa\,\text{Tang.}\,n}.$$

Kennt man aber auf diese Weise φ' und λ', so hat man sofort für den Winkel m' die Schattenlinien der Uhr mit der Substilarlinie, da diese Uhr für den neuen Ort, wie gesagt, eine Horizontaluhr ist, nach dem Vorhergehenden

$$\text{Tang.}\,m' = \text{Sin.}\,\varphi'.\,\text{Tang.}\,(s + \lambda'),$$

und mittelst dieser einfachen Formel kann sofort die Sonnenuhr auf der gegebenen Dachebene nach aller Schärfe verzeichnet werden.

Gewöhnlich werden diese Uhren auf verticalen Ebenen, auf den senkrecht stehenden Wänden unserer Häuser und Kirchen verzeichnet. Für diese Fälle werden aber die vorhergehenden Ausdrücke beträchtlich einfacher. Setzt man nämlich $n = 90°$, so gehen jene drei Gleichungen in folgende über:

$$\text{Sin.}\,\varphi' = \text{Cos.}\,\varphi\,\text{Sin.}\,\varkappa,$$

$$\text{Tang.}\,\lambda' = -\frac{\text{Cotg.}\,\varkappa}{\text{Sin.}\,\varphi} \text{ und}$$

$$\text{Tang.}\,m' = \frac{\text{Tang.}\,s + \text{Tang.}\,\lambda'}{1 - \text{Tang.}\,s\,.\,\text{Tang.}\,\lambda'}\,.\,\text{Sin.}\,\varphi',$$

welche drei Ausdrücke sich auch auf einen einzigen zurückführen lassen, wenn man in dem dritten die Werthe von

Digitized by Google

Sin. φ' und Tang. λ' aus den beiden ersten substituirt, wodurch man erhält

$$\text{Tang. m}' = \frac{\text{Cos. } \varphi \text{ Sin. } x (\text{Sin. } \varphi \text{ Sin. } x \text{ Tang. s} - \text{Cos. } x)}{\text{Cos. } x \text{ Tang. s} + \text{Sin. } x \text{ Sin. } \varphi}.$$

Man hat auch *Mond-* und *Sternuhren*, aber beide gewähren keine grofse Zuverlässigkeit und sind in dieser Beziehung sowohl, als auch in Hinsicht auf ihre Bequemlichkeit mit den Sonnenuhren nicht zu vergleichen, so dafs sie gröfstentheils zu den astronomischen Tändeleien gezählt zu werden verdienen, mit welchen der Künstler, der sie verfertigt, und der Beobachter, der sie gebraucht, nicht sowohl seine Zeit bestimmen, als vielmehr nur sie verschwenden kann. Auch selbst die Sonuenuhren sind, wenn sie nicht von sehr grofsen Dimensionen und mit der äufsersten Schärfe entworfen werden, keiner hohen Präcision fähig[1]. Wir werden unten im Artikel *Zeitbestimmung* viel einfachere und vorzüglichere Mittel zu diesem Zwecke kennen lernen.

L.

Sonnenwende.

Sonnenstillstandspunct, Solstitialpunct; *Solstitium*; Solstice; *Solstice, Tropic.*

Sonnenwenden oder Solstitien nennt man die beiden Puncte der Ekliptik oder der jährlichen Sonnenbahn, die vom Aequator nördlich und südlich am meisten entfernt sind. Der auf der Nordseite des Aequators heifst der *Sommerwendepunct*, weil mit dem Eintritte der Sonne in diesen Punct der Sommer der nördlichen Hemisphäre der Erde anfängt, und aus demselben Grunde heifst der andere der *Winterwendepunct*. Nach den ersten Elementen der sphärischen Trigonometrie stehen beide Puncte einander um 180 Grade gegenüber und sind zu beiden Seiten um 90 Grade von den beiden Durchschnittspuncten der Ekliptik mit dem Aequator, das heifst, von den beiden *Aequinoctialpuncten*, entfernt[2]. Die Entfernung dieser beiden Puncte aber vom Aequator, auf dem Bo-

1 Vergl. Gnomonik oder Anleitung zur Verfertigung aller Arten von Sonnenuhren. Von J. J. Littrow. Wien 1831.

2 S. *Nachtgleichenpuncte* Bd. VII. S. 5.

gen eines gröfsten Kreises gemessen, ist gleich dem Neigungswinkel der Erdbahn mit dem Aequator oder der Schiefe der Ekliptik, die jetzt nahe 23°28′, beträgt[1], und jener gröfste Kreis endlich steht senkrecht auf der Ekliptik sowohl, als auch auf dem Aequator und heifst der *Kolur der Solstitien.*

Wenn die Sonne bei ihrem scheinbaren jährlichen Umlaufe den nördlichen Solstitialpunct erreicht, so haben die Bewohner der nördlichen Hemisphäre ihren längsten Tag und die der südlichen Halbkugel ihre längste Nacht oder dort ist der Anfang des Sommers und hier des Winters. Umgekehrt verhält sich diese Sache, wenn die Sonne in den südlichen Solstitialpunct tritt. So wie sie einen dieser beiden Puncte erreicht, so *wendet* sie ihren Weg, daher jene Benennung, und geht sodann südlich, wenn sie zuvor gegen Nord sich erhob, und umgekehrt. Weil übrigens diejenigen Bogen zweier sich auf der Kugel durchschneidenden gröfsten Kreise, die am weitesten von einander entfernt sind, einander nahe parallel laufen, so ist der Weg der Sonne zur Zeit der Solstitien auch nahe parallel mit dem Aequator, daher ändert sich in diesen beiden Epochen des Jahrs (am 21. Juni und 22. December) die Declination, also auch die mittägige Höhe, so wenig, dafs die Sonne in Beziehung auf den Aequator gleichsam still zu stehn scheint; daher die zweite Benennung des Solstitiums oder Sonnenstillstandspunctes. Zieht man durch diese beiden Puncte zwei kleinere, dem Aequator parallel laufende Kreise, so erhält man die beiden *Wendekreise*, den nördlichen und südlichen. Zwei andere, jenen parallele Kreise, die von den beiden Polen des Aequators ebenso weit, d. h. um 23°28′, entfernt sind, als die Wendekreise vom Aequator, heifsen die *Polarkreise*, der nördliche und südliche. Denkt man sich endlich die Erde in der Mitte der Sphäre des Himmels, so dafs beide Kugeln concentrisch sind oder einen gemeinsamen Mittelpunct haben, so wird die Ebene des Aequators sowohl, als auch die der Wende- und Polarkreise des Himmels, die Oberfläche der Erde ebenfalls in Kreisen schneiden, die man, analog mit jenen, den irdischen Aequator und die irdischen Wende- und Polarkreise heifst. Dadurch sind die bekannten fünf *Zonen* entstanden, in welche man die Oberfläche der Erde schon in den ältesten Zeiten einzutheilen pflegte.

1 S. *Schiefe der Ekliptik* unter *Vorrückung der Nachtgleichen.*

Digitized by Google

Um die Zeit des Solstitiums zu beobachten, vergleicht man die Sonne mit einem bekannten Fixsterne mehrere Tage vor und nach dem 21. Junius und 22. December am Mittagsrohre und sucht daraus durch eine einfache Proportion den Augenblick, wo die Rectascension, also auch die Länge der Sonne, genau gleich 90° oder gleich 270° ist.

Allein wichtiger noch ist die Bestimmung des Solstitialpuncts in Beziehung auf den Aequator, d. h. die Declination dieses Punctes, weil diese zugleich, wie bereits oben erwähnt wurde, gleich der Schiefe der Ekliptik, also gleich einem der wichtigsten Elemente der gesammten Astronomie ist.

L.

Sonnenzeit.

Wir können die Zeit nur durch die Bewegung messen. Die beste und bequemste aller Bewegungen zu diesem Zwecke wird die gleichförmige seyn. Nun ist der Theorie und allen unsern Beobachtungen zufolge die Bewegung der Erde, also auch die Bewegung des Aequators der Erde um ihre Axe, höchst gleichförmig. Darum also bezieht sich jede unserer Zeitmessungen in letzter Instanz immer auf diesen Aequator.

Der *Frühlingspunct*[1] ist ein solcher Punct des Aequators. Auch gebrauchen ihn die Astronomen vorzugsweise zur Bestimmung *ihrer* Zeit, die sie *Sternzeit* nennen[2]. Die Dauer zwischen zwei nächsten Culminationen des Frühlingspuncts im obern, sichtbaren Theile des Meridians eines Beobachtungsortes auf der Oberfläche der Erde heifst der *Sterntag*. Er wird, wie alle unsere Tage, in 24 Stunden, jede Stunde in 60 Minuten und jede Minute in 60 Secunden eingetheilt, so dafs der ganze Weg des Frühlingspunctes um die Erde oder die 360 Grade der Peripherie des Aequators in 24 Stunden, also in jeder Stunde 15 Grade zurückgelegt werden. Ist also dieser Frühlingspunct von seiner Culmination an im Meridiane bereits um 15, 30, 45..... Grade westlich weiter gerückt, das heifst, beträgt der *Stundenwinkel* des Frühlingspunctes 1,

---

1 S. *Frühlingspunct*. Bd. IV. S. 528.

2 Vergl. *Sternzeit*.

2, 3.... Uhr, so sagt man, es sey 1, 2, 3.... Uhr *Sternzeit* an jenem Beobachtungsorte.

Die Astronomen richten sich bei ihren Beobachtungen, wie gesagt, ganz nach dieser *Sternzeit*. Allein unsere ganze gesellige Einrichtung und alle unsere häuslichen und öffentlichen Geschäfte richten sich nicht nach der Bewegung jenes Frühlingspunctes, sondern bekanntlich blofs nach jener der *Sonne*. Die Sonne führt den Wechsel unserer Tage und Nächte herbei und hat sich daher schon in den ersten Jahrhunderten als der eigentliche Regulator unserer Zeit gleichsam aufgedrungen.

Man verfährt aber mit der Sonne in Beziehung auf die Zeitmessung ganz ebenso, wie oben mit dem Frühlingspuncte. Die Zeit zwischen zwei nächsten Culminationen der Sonne nennt man den wahren oder *Sonnentag*, welcher mit der Culmination anfängt und ebenfalls in 24 Stunden getheilt wird, die den 360 Graden entsprechen, welche die Sonne während der Dauer eines Sonnentags um die Erde beschreibt. Rückt dann diese Sonne von ihrer Culmination im Meridiane irgend eines Orts, in Beziehung auf dem Aequator gemessen, um 15 Grade gen West, das heifst, beträgt der Stundenwinkel der Sonne 15 Grade, so ist es an jenem Orte ein Uhr wahre Sonnenzeit, und ebenso ist es 2, 3, 4.... Uhr wahre Zeit dieses Orts in dem Augenblicke, wo der Stundenwinkel der Sonne 30, 45, 60..... Grade beträgt. Diese wahre Zeit ist es, welche unsere Sonnenuhren angeben, wenn sie anders richtig construirt sind.

Soweit erscheint alles als gut und bequem eingerichtet. Allein wenn man die Sache etwas näher erforscht, so zeigen sich sofort mehrere Schwierigkeiten.

Es wurde bereits gesagt, dafs wir die Zeit nur durch die Bewegung irgend eines Körpers und zwar nur durch die *gleichförmige* Bewegung messen können. Allein die Bewegung der Sonne ist keine solche gleichförmige, und zwar aus zwei Ursachen, die wir sogleich näher angeben müssen.

Die Erde bewegt sich bekanntlich in einer Ellipse, deren einen Brennpunct die Sonne einnimmt. In den Erscheinungen, wie wir sie von der Erde sehn, wird aber nichts geändert, wenn wir, dem gewöhnlichen Sprachgebrauche gemäfs, annehmen, die Sonne sey es, die sich in jener Ellipse be-

Digitized by Google

wegt, deren einen Brennpunct die Erde einnimmt. Da sonach diese Sonne zu verschiedenen Zeiten auch verschiedene Entfernungen von der Erde hat, so mufs ihre Bewegung *ungleichförmig* seyn. Dessenungeachtet ist die ganze Zeit, in welcher sie ihre elliptische Peripherie um die Erde vollendet oder in welcher sie zwei nächste Durchgänge durch denselben Endpunct der grofsen Axe ihrer elliptischen Bahn macht, immer dieselbe oder, wie man zu sagen pflegt: „die Revolution (Umlaufszeit) der Sonne ist unveränderlich," und dieses ist einer der Grundsätze, auf welche unsere ganz neuere Astronomie gebaut ist.

Das vorzüglichste unserer Zeitmafse und das, worauf sich im Grunde alle unsere übrigen Zeiteintheilungen in Stunden, Wochen, Monate, Jahre und so fort beziehn, ist immer der *Sonnentag* oder die Dauer zwischen zwei nächsten Culminationen der Sonne in demselben Meridiane. Allein diese Dauer ist, wie wir so eben gesagt haben, veränderlich, weil die Geschwindigkeit der Sonne selbst veränderlich ist. Diese Veränderungen sind jedoch erstens nicht grofs (die gröfste Differenz der Länge eines solchen Sonnentags beträgt noch nicht 4 Minuten oder kaum $\frac{1}{360}$ des ganzen Tags) und sie sind auch zweitens periodisch oder sie kommen zu bestimmten Jahreszeiten regelmäfsig wieder und stellen sich am Ende eines jeden Jahres wieder her. Es wird daher unter allen diesen veränderlichen *wahren Sonnentagen* ein mittlerer und sonach *beständiger* Werth aufzufinden seyn, den man statt jenes wahren, aber unbeständigen substituiren kann und dessen Fehler sich am Ende einer jeden Periode wieder ausgleichen, so dafs die Dauer einer gewissen Anzahl wahrer Sonnentage von der Dauer einer ebenso grofsen Anzahl mittlerer Tage immer weniger verschieden seyn mufs, je gröfser die Anzahl dieser Tage selbst ist. Gesetzt man hätte bereits durch eine erste Annäherung gefunden, dafs die Umlaufszeit der Sonne in Beziehung auf den Frühlingspunct sehr nahe $365\frac{1}{4}$ solcher wahren Sonnentage betrage, wie denn auch in der That die Griechen schon im dritten Jahrhunderte vor Ch. G. die Länge des Jahres gleich $365\frac{1}{4}$ Tagen angenommen haben. Nehmen wir nun an, einer dieser Griechen haben an irgend einem Jahrestage, z. B. an dem 10ten Tage des ersten Monats im Jahre, eine gewisse Länge der Sonne beobachtet und ein

anderer Astronom habe gerade 400 Jahre später wieder dieselbe Länge der Sonne beobachtet, die aber nicht mehr auf den 10ten, sondern auf den 7ten Tag des ersten Monats im Jahre, also drei volle Tage früher fiel, als zu jener ersten Epoche. Es machen aber 400 Jahre, jedes zu $365\frac{1}{4}$ Tagen, zusammen 146100 Tage, und da die zweite Beobachtung 3 Tage früher fiel, so betrug die Zeit zwischen den beiden Beobachtungen 146097 wahre Sonnentage. Das heifst also, in der Zeit von 146097 wahren Sonnentagen enthält die Sonne, von der Erde gesehn, genau 400mal dieselbe *Länge*, oder dieselbe Entfernung vom Frühlingspuncte, oder endlich, in 146097 wahren Sonnentagen legt die Sonne ihren Weg um die Erde, in Beziehung auf den Frühlingspunct, genau 400mal zurück. Man hat daher

400 Jahre : 1 Jahr = 146097 Tage : x Tage

oder die wahre Länge eines Jahres beträgt (nicht $365\frac{1}{4}$, wie man durch jene erste Näherung gefunden hatte, sondern) genauer $\frac{146097}{400}$ oder 365,2425 Tage und zwar 365,2425 jener *mittlern* oder beständigen Sonnentage. Während also die wahren Sonnentage unter sich ungleich sind und man nie mit Bestimmtheit sagen könnte, wie viele solcher wahren Tage auf eine volle Umlaufszeit der Sonne, auf ein ganzes Jahr, gehn, kann man dieses wohl von jenen constanten mittleren Tagen und zwar, wie man aus diesem Beispiele sieht, mit desto gröfserem Rechte und mit desto gröfserer Genauigkeit sagen, je gröfser das Intervall zwischen jenen beiden Beobachtungen ist, aus welchen man die Länge des Jahrs abgeleitet hat. Aus diesen Ursachen nimmt man auch zur Bestimmung der wahren Gröfse der Umlaufszeit der Sonne sowohl, als auch aller Planeten, stets nur sehr alte Beobachtungen, um sie mit den neuesten und besten zu jenem Zwecke zusammen zu stellen. Die Astronomen, welche diese wichtige Untersuchung mit der gröfsten Genauigkeit vorgenommen haben, fanden auf die durch unser Beispiel angezeigte Weise, dafs die Umlaufszeit der Sonne in Beziehung auf die Nachtgleichen oder dafs das sogenannte *tropische Jahr* in unserm Jahrhunderte[1] 365,242255 mittlere Sonnentage oder 365 solche Tage 5 Stund. 48 Min. 50,832 Sec. betrage.

1 Eigentlich ist die Länge des Jahrs, in mittlern Sonnentagen

Dieser mittlere Tag ist also ein blofs eingebildetes Zeitmafs, während der wahre Sonnentag ein reelles, durch die Sonne selbst oder durch je zwei nächste Culminationen dieser Sonne gegebenes Zeitmafs ist. Allein dieses letzte ist veränderlich und kann daher als ein eigentliches Mafs nicht gebraucht werden, wohl aber das erste, weil dasselbe constant und für allen Zeiten unveränderlich ist.

Man kann, um diese Vorstellung jenes blofs imaginären, mittlern Tages sinnlicher zu machen, annehmen, dafs es noch eine andere Sonne, die *mittlere* Sonne, gebe, welche die Eigenschaft hat, dafs sie sich vollkommen *gleichförmig* in der Ekliptik bewege (während die wahre Sonne, wie wir gesehn haben, ungleichförmig fortgeht) und dafs sie mit der wahren Sonne immer *zugleich durch den Frühlingspunct* oder eigentlich, wie wir sogleich weiter unten sehn werden, durch die beiden Endpuncte der grofsen Axe der elliptischen Sonnenbahn geht.

Allein damit haben wir unsern Zweck noch nicht ganz erreicht. Diese mittlere, in der Ekliptik gleichförmig fortgehende Sonne wird nämlich in jedem mittlern Tage einen Bogen von $\frac{360}{365{,}242255} = 0{,}9856472$ Graden *in der Ekliptik* zurücklegen, aber auch im *Aequator?* Keineswegs, da die Ekliptik gegen den Aequator geneigt und zwar nahe um den Winkel von 23° 28′ geneigt ist, welchen Winkel man die *Schiefe der Ekliptik* zu nennen pflegt. Nennt man nämlich diese Schiefe e und die Declination der Sonne δ, so findet

---

ausgedrückt, wegen der Vorrückung der Nachtgleichen (s. diesen Artikel) etwas weniges veränderlich. Das *mittlere* tropische Jahr hat 365 T. 5 St. 48 M. 46,8 Sec. und das jetzt statt habende ist daher um 4 Sec. gröfser als das mittlere. Im Jahre 2360 nach Ch. G. wird das Jahr den angezeigten mittlern Werth haben. Im Jahre 3040 vor Chr. G. war es am längsten und gleich 365 T. 5 St. 49′ 24″,8, also 38 Sec. gröfser, als das mittlere, und im J. 7600 nach Ch. G. wird es wieder am kleinsten und gleich 365 T. 5 St. 48′ 8″, also wieder 38 Sec. kleiner als das mittlere Jahr seyn. Diese Differenzen, deren Perioden wenigstens 10000 Jahre umfassen, während welcher die wahre Länge des Jahrs zwischen jenen Grenzen von 38 Sec. um seine mittlere Gröfse auf- und nieder geht, sind hier zu geringfügig, um bei der obigen Darstellung eine eigene Berücksichtigung zu erfordern.

man, dafs, während die tägliche constante Bewegung der mittlern Sonne in der Ekliptik zu allen Zeiten des Jahres gleich $0°,9856472$ ist, dafs dieselbe tägliche Bewegung dieser mittlern Sonne in Rectascension oder in Beziehung auf den Aequator gleich

$$0°,9856472 \frac{\text{Cos. e}}{\text{Cos.}^2 \delta},$$

also wieder *variabel* ist und dafs daher diese mittlere Sonne zu einem guten und bequemen Zeitmafse sich ebenso wenig eignet, als jene wahre, welcher wir diese mittlere Sonne zu unserm Zwecke substituiren wollten. Gleichförmigkeit der Bewegung nämlich bedürfen wir allerdings, aber nicht Gleichförmigkeit in Beziehung auf die Ekliptik, die uns hier nichts nützt, sondern *in Beziehung auf den Aequator*, auf welchen sich, wie wir oben gesagt haben, im Grunde alle unsere Zeitmessungen in letzter Instanz beziehn müssen, weil es doch nur die Bewegung der Erde, d. h. die ihres Aequators um ihre Axe ist, welche den Wechsel der Tage und Nächte herbeiführt.

Wir müssen daher, um unsere Absicht völlig zu erreichen, jene mittlere Sonne zwar *gleichförmig*, aber auch zugleich im *Aequator* und zwar so einhergehn lassen, dafs sie mit jener wahren Sonne immer zugleich durch den Frühlingspunct, der auch ein Punct des Aequators ist, geht, und *diese* mittlere, übrigens nur imaginäre Sonne ist es also, deren immer gleiche Bewegung zwischen je zwei nächsten Culminationen in demselben Meridiane jenen *mittleren* Tag bestimmt, von welchen 365,242255 auf jede tropische Umlaufszeit der Sonne gehn.

Man sieht aus dieser Darstellung, dafs für jeden Augenblick der Abstand der ersten mittlern Sonne vom Frühlingspuncte, in der Ekliptik gezählt, gleich ist dem Abstande der zweiten mittlern Sonne von demselben Frühlingspuncte, aber im Aequator gezählt, oder mit andern Worten: dafs die *Länge* der ersten mittlern Sonne immer gleich der *Rectascension* der zweiten mittlern Sonne ist. Da nun diese beiden Sonnen sich vollkommen gleichförmig bewegen und man den Weg, welchen sie in jedem mittlern Tage beschreiben, nämlich den Bogen von $0°,9856472$ schon kennt, so ist es sehr leicht, ihren Ort in der Ekliptik oder im Aequator für jede gegebene

Zeit zu bestimmen, wenn man nur den Ort derselben für irgend eine Epoche kennt. Wenn man z. B. weifs, dafs die Länge der ersten oder, was dasselbe ist, die Rectascension der zweiten mittlern Sonne im mittlern Mittage, d. h. in dem Augenblicke, als die zweite mittlere Sonne für einen bestimmten Meridian, z. B. von Wien, culminirte, am ersten Tage des Jahrs 1835 gleich

$$279^{\circ}\ 23'\ 13'',35$$

gewesen ist, so darf man zu dieser Zahl nur die Gröfse $0^{s},9856472$ ein-, zwei-, dreimal... addiren, um den Ort dieser Sonne im mittlern Mittage des 2., 3., 4. Januars zur Zeit des mittlern Mittags von Wien zu erhalten, und so fort in allen ähnlichen Fällen.

Nichts wäre daher bequemer, als wenn wir eine solche zweite mittlere Sonne hätten, die in der That am Himmel sichtbar wäre. Wir dürften sie dann nur alle Tage beobachten, wenn sie eben durch unsern Meridian geht, um dadurch sogleich den Augenblick unsers Mittags oder des Anfangs eines neuen mittleren Tags zu erhalten. Und auch aufser dem Meridiane dürften wir nur in irgend einem Augenblicke ihren Abstand vom Meridiane, d. h. ihren *Stundenwinkel* beobachten, um sofort auch schon die richtige mittlere Zeit dieses Augenblicks zu erhalten. Wenn wir z. B. durch unsere Beobachtung fänden, dafs der Stundenwinkel dieser mittlern Sonne 15, 30, 45... Grade beträgt, so würden wir hiermit auch sofort wissen, dafs diese Beobachtung in dem Augenblicke angestellt worden ist, wo es eben 1, 2, 3..... Uhr mittlerer Zeit war.

Allein so gut ist es uns nicht geworden. Diese zweite mittlere Sonne ist nicht sichtbar am Himmel; sie existirt daselbst gar nicht, sondern nur in unserer Einbildung, sie ist nur eine imaginäre, aber keine reelle Sonne. Jene erste, wahre Sonne aber ist allerdings für Jedermann alle Tage sichtbar genug, aber, da sie sich alle Augenblicke mit einer andern Geschwindigkeit bewegt, für ein eigentliches Zeitmafs nicht, wenigstens nicht unmittelbar zu gebrauchen. Indefs, da sie allein wirklich *beobachtet* werden kann, so sind wir doch gezwungen, zu ihr zurückzukehren und uns an sie zu halten.

Da nun glücklicher Weise diese beiden Sonnen immer sehr nahe an derselben Stelle des Himmels sind, was offen-

bar von der geringen Excentricität, sowie von der im Ganzen ebenfalls nur geringen Neigung der Sonnenbahn gegen den Aequator kommt, so können wir vielleicht ein Mittel finden, aus dem Orte der wahren Sonne, der unmittelbar beobachtet werden kann, den Ort der andern oder der zweiten mittlern Sonne durch Rechnung abzuleiten, und wenn nun diese Rechnung vollkommen verläfslich ist, so werden wir dadurch auch sofort einen Weg erhalten, aus der wahren Sonnenzeit, die ein Gegenstand der unmittelbaren Beobachtung ist, die mittlere Sonnenzeit, die allein wegen ihrer Beständigkeit ein gutes Zeitmafs abgiebt, abzuleiten, so dafs wir also zwar nicht mehr, wie wir anfangs wollten, aus der mittlern Zeit die wahre, aber doch aus dieser jene finden können. Man nennt aber die Differenz dieser beiden Zeiten in der Astronomie die *Zeitgleichung*, die wir künftig durch x bezeichnen wollen, so dafs in allen Fällen x diejenige Gröfse ist, die man mit ihrem Zeichen zur wahren Zeit für jeden gegebenen Augenblick hinzusetzen mufs, um die mittlere Zeit dieses Augenblicks zu erhalten. Diese Zeitgleichung nun ist das, was man in jedem guten Kalender in der Columne, die *die Uhren im Mittage* überschrieben ist, angegeben findet. Man hat nämlich im wahren Mittag für den 1. Januar eines jeden Jahrs $x = +0^h\ 3'\ 42''$, das heifst, die mittlere Zeit ist in diesem Mittage um $3'\ 42''$ vor der wahren voraus oder in dem Augenblicke, wo die wahre Sonne durch den Meridian geht oder wo es an jenem Orte eben 12 Uhr ist, wo jede gute Sonnenuhr eben 12 Uhr zeigt, soll eine nach mittlerer Zeit richtig gehende Pendeluhr $12^h\ 3'\ 42''$ zeigen. Am 1sten Mai hingegen ist die Zeitgleichung nahe $x = -0^h\ 3'\ 0''$, oder wenn an diesem Tage eine gute Sonnenuhr $12^h\ 0'\ 0''$ zeigt, soll eine richtig gehende Pendel- oder Taschenuhr $11^h\ 57'\ 0''$ zeigen u. s. w. Die folgende Tafel giebt diese Zeitgleichung für jeden zehnten Tag des Jahres, und zwar ganz genau für ein solches Jahr, das, wie 1835, einem Schaltjahre unmittelbar vorhergeht. Für andere Jahre aber ist diese Zeitgleichung oft einige Secunden gröfser oder kleiner.

Digitized by Google

Januar	0	+	3′	5″					
	10	+	7	42	Juli	9	+	4′	32″
	20	+	11	15		19	+	5	52
	30	+	13	34		29	+	6	9
Februar	9	+	14	32	August	8	+	5	26
	19	+	14	11		18	+	3	44
März	1	+	12	43		28	+	1	14
	11	+	10	23	Septemb.	7	—	1	54
	21	+	7	30		17	—	5	22
	31	+	4	25		27	—	8	50
April	10	+	1	29	October	7	—	11	58
	20	—	1	3		17	—	14	27
	30	—	2	51		27	—	15	57
Mai	10	—	3	49	Novemb.	6	—	16	14
	20	—	3	49		16	—	15	8
	30	—	2	55		26	—	12	38
Juni	9	—	1	17	Decemb.	6	—	8	56
	19	+	0	46		16	—	4	21
	29	+	2	55		26	+	0	38

Man sieht aus dieser Tafel, dafs vom Anfang des Jahres an bis nahe zum 15. April die mittlere Zeit gröfser ist, als die wahre, und dafs dasselbe auch vom 15. Juni bis Ende August statt hat, während im übrigen Theile des Jahrs die wahre Zeit vor der mittlern voraus ist. Am gröfsten ist diese Zeitgleichung am 11. Februar, wo sie + 14′ 34″, und am 4. November, wo sie — 16′ 17″, also mehr als eine Viertelstunde beträgt, während sie ganz verschwindet am 15. April, 16 Juni, 2 September und 25. December, an welchen vier Tagen beide Zeiten einander ganz gleich sind. Auch sieht man daraus, dafs die wahren Sonnentage im Laufe des ganzen Jahres ihre Dauer immerwährend ändern, während im Gegentheile die Länge des mittlern Tages stets dieselbe bleibt. Am 1. Januar z. B. hat der wahre Sonnentag 24 St. 0′ 28″ mittlerer Zeit, am 1. April aber nur 23 St. 59′ 42″ und am 1. Juli wieder 24 St. 0′ 12″ u. s. w., so dafs also, da beide Tage in 24 Stunden und diese wieder in 60 Minuten und jede Minute in 60 Secunden eingetheilt werden, bei dem wahren Tage auch die Stunden, Minuten und Secunden von ungleicher Länge seyn müfsten.

Digitized by Google

Aus dieser Ursache können also auch alle unsere Pendel- und Taschenuhren, die, als mechanische Werkzeuge, einen *gleichförmigen* Gang haben sollen, mit dieser veränderlichen wahren Sonnenzeit nicht übereinstimmen, und es ist eine sehr ungeschickte Empfehlung einer Uhr, wenn Unwissende von ihr rühmen, dafs sie genau nach der Sonne gehe, da sie doch, wie jene Tafel zeigt, wenn sie in der That gut geht, an manchen Tagen des Jahrs gegen eine Viertelstunde mehr oder weniger, als die Sonne, zeigen soll. Es ist daher eine sehr zweckmäfsige Einrichtung, die man schon in mehrern gröfsern Städten getroffen hat, dafs man von dem Hauptthurme der Stadt nicht mehr, wie sonst, den wahren, sondern dafs man den mittlern (d. h. den durch jene Zeitgleichung corrigirten wahren) Mittag durch ein besonderes Zeichen angiebt, nach welchem dann die sämmtlichen Bewohner der Stadt ihre Uhren mit Verläfslichkeit kennen lernen und, wenn es nöthig ist, auch berichtigen können, während man sonst, wo man bei diesem Zeichen des wahren Mittags seine Uhr täglich auf 12 St. zu stellen suchte, dadurch eine sonst gut gehende Uhr durch immerwährende zwecklose und unrichtige Correctionen nur verderben mufste.

Dieses zu oft wiederholte Corrigiren der Uhren ist denselben überhaupt schädlich, weil sie dadurch nur in ihrem gleichmäfsigen Gange gehindert werden. Wer eine gute Uhr besitzt und sie, wie sie es verdient, schonen will, wird es wie die Astronomen machen, die ihre Uhren oft Jahre lang fortgehn lassen, ohne ihre Zeiger zu stellen, auch wenn dieselben schon mehrere Minuten von der richtigen mittlern Zeit abweichen sollten. Es ist genug, wenn man nur diese Abweichung von der mittlern Zeit für irgend einen Augenblick und wenn man überdiefs den sogenannten täglichen Gang der Uhr kennt, um daraus für jeden andern Augenblick die richtige mittlere Zeit dieses Augenblicks zu finden. Gesetzt man weifs, dafs die Uhr am 3. August im Augenblick des mittlern Mittags $12^h\ 3'\ 20''$, also $3'\ 20''$ zu viel zeigte und dafs sie während jedes mittlern Tages um $30''$ vorauseilt oder dafs ihre tägliche Acceleration $30''$ beträgt. Wenn diese Uhr in der That gleichförmig geht, so wird sie also am 4. August im mittleren Mittag $12^h\ 3'\ 50''$, am 5. August $12^h\ 4'\ 20''$ geben u. s. w. Hat man nun z. B. am 5. August Abends eine

Digitized by Google

Beobachtung in dem Augenblicke gemacht, als die Uhr 8^h 35′ 48″ zeigte, so findet man daraus sehr leicht die richtige mittlere Zeit dieser Beobachtung, da man hat

24 St. 0′ 30″ Uhrzeit : 30″ = 8 St. 35′ 48″ Uhrzeit : x

oder einfacher

24 St., 00833 : 30 = 8 St., 59667 : x,

woraus man erhält x = 10″,74, die zu 0^h 4′ 20″ addirt für die gesuchte Correction der Uhrzeit der Beobachtung .... 4′ 30″,74 und daher für die mittlere Zeit der Beobachtung selbst 8^h 31′ 17″,26 geben.

Es wird aber im Art. *Sternzeit* gesagt werden, wie sich dieser mittlere Tag zu dem sogenannten Sterntage d. h. zu der Zeit verhält, in welcher sich die Erde in der That einmal um ihre Axe dreht oder, was dasselbe ist, in welcher irgend ein unveränderlicher Punct des Himmels, z. B. ein Fixstern, genau zweimal durch denselben Meridian geht. Da nämlich unsere zweite mittlere Sonne, wie bereits oben erwähnt wurde, kein solcher unveränderlicher Punct ist, sondern da sie während jedes mittleren Tages um 0°,9856472 in Rectascension gegen Osten geht und da für alle gleichförmige Bewegungen, wenn die Zwischenzeiten gleich sind, die von den Körpern zurückgelegten Wege sich verkehrt wie die Umlaufszeiten verhalten, und da endlich, während die Sonne in einem mittleren Tage 360° zurücklegt, der Fixstern den Bogen 360° + 0°,9856472 beschreibt, so hat man

$$\frac{\text{Sterntag}}{\text{mittlerer Sonnentag}} = \frac{360}{360 + 0{,}9856472}$$

oder, wenn man der Kürze wegen

$$m = \frac{0{,}9856472}{360} = 0{,}0027379 \text{ setzt},$$

$$\frac{\text{Sterntag}}{\text{mittlerer Sonnentag}} = \frac{1}{1+m}.$$

Nimmt man also den Sonnentag für die Einheit an, so ist der Sterntag $= \frac{1}{1+m} = \frac{1}{1{,}0027379}$ eines Sonnentags, oder wenn man mit 86400 (der Anzahl Secunden eines jeden Tags) multiplicirt, so ist der Sterntag = 86164″,09133 = 23 St. 56′ 4″,09133 mittlerer Sonnenzeit. Nimmt man aber umgekehrt den Sterntag für die Einheit an, so ist der Sonnen-

Digitized by Google

tag = 1 + m = 1,0027379 eines Sterntags, oder wenn man wieder durch 86400 multiplicirt, so ist der Sonnentag = 86636″,55456 = 24 St. 3′ 56″,55456 Sternzeit.

Um diesen wichtigen Gegenstand oder die Verwandlung der wahren Sonnenzeit in mittlere Zeit nicht unvollendet zu lassen, mufs nun noch gezeigt werden, wie man diese Verwandlung vornimmt oder wie man die *Zeitgleichung*, die wir oben durch x bezeichnet haben, durch Rechnung finden kann. Diese Rechnung setzt, wie für sich klar ist, die elliptische Bewegung der Sonne als bekannt voraus, von welcher das Wesentlichste bereits oben[1] gegeben wurde. Ist nämlich, wie a. a. O., m die mittlere Anomalie, die für jede gegebene Zeit durch eine blofse einfache Addition gefunden werden kann, und ist ν die wahre Anomalie, so wie ε die Excentricität der elliptischen Erdbahn, deren halbe grofse Axe als Einheit angenommen, so sucht man zuerst nach der dort gegebenen Anleitung den Winkel u aus der Gleichung

$$m = u - \varepsilon \operatorname{Sin.} u$$

und dann erhält man ν durch den Ausdruck

$$\operatorname{Tang.} \tfrac{1}{2}\nu = \operatorname{Tang.} \tfrac{1}{2}u \cdot \sqrt{\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}}.$$

Man kann aber auch, was viel bequemer ist, diese Hülfsgröfse u aus beiden Gleichungen eliminiren und, da ε eine gegen die Einheit nur geringe Gröfse ist, den Werth von ν unmittelbar durch m in einer Reihe ausdrücken, die nach den Potenzen dieser kleinen Gröfse ε fortgeht. Auf diese Weise erhält man, wenn man diese Anomalieen vom Aphelium zu zählen anfängt,

$$\nu = m - 2\varepsilon \operatorname{Sin.} m + \frac{5}{4}\varepsilon^2 \operatorname{Sin.} 2m - \frac{\varepsilon^3}{4}\left(\frac{13}{3}\operatorname{Sin.} 3m - \operatorname{Sin.} m\right) + \frac{\varepsilon^4}{24}\left(\frac{103}{4}\operatorname{Sin.} 4m - 11 \operatorname{Sin.} 2m\right) - \ldots$$

Addirt man zu diesem ν die Länge P des Aphelums der Erde oder, was dasselbe ist, die Länge des Perigeums der Sonne, die im Anfange dieses Jahrhunderts gleich P = 279° 29′ 0″ ist und mit jedem Jahre um 62″,16 wächst, so er-

1 S. *Anomalie*. Bd. I. S. 297.

hält man die *wahre Länge* λ der Sonne für jede gegebene Zeit, und daraus findet man sofort auch die *wahre Rectascension* α der Sonne für dieselbe Zeit durch die Gleichung

$$\text{Tang.}\,\alpha = \text{Cos.}\,e\,.\,\text{Tang.}\,\lambda,$$

wo e die Schiefe der Ekliptik bezeichnet.

Auch diese Gröfse α kann man in eine Reihe entwickeln, die nach den Potenzen von $\omega = \text{Tang.}^2\frac{1}{2}e$ fortgeht. Man findet nämlich

$$\alpha = \lambda - \omega\,\text{Sin.}\,2\lambda + \tfrac{1}{2}\omega^2.\text{Sin.}\,4\lambda - \tfrac{1}{3}\omega^3\,\text{Sin.}\,6\lambda + \ldots,$$

und wenn man in dieser Reihe statt λ die äquivalente Gröfse $\nu + P$, d. h., wenn man statt λ die Gröfse

$$\lambda = m + P - 2\varepsilon\,\text{Sin.}\,m + \tfrac{5}{4}\varepsilon^2\,\text{Sin.}\,2m - \frac{\varepsilon^3}{4}\left(\frac{13}{3}\,\text{Sin.}3m - \text{Sin.}\,m\right)$$

substituirt, so erhält man für die *wahre Rectascension* α der Sonne einen Ausdruck, der blofs von der mittlern Anomalie m, die für jeden Augenblick durch eine sehr leichte Rechnung gefunden wird, abhängt. Allein die mittlere Rectascension unserer zweiten mittleren Sonne, durch welche, nach dem Vorhergehenden, die mittlere Zeit eigentlich bestimmt wird, ist gleich der mittleren Anomalie m, wenn man zu ihr die Länge P des Apheliums addirt, oder sie ist gleich $m + P$, und der Unterschied dieser beiden Rectascensionen α und $m + P$ ist eben die gesuchte Zeitgleichung, die wir oben mit x bezeichnet haben, so dafs man also, wenn man diese Zeitgleichung selbst in Zeitminuten ausdrückt, deren 15ter Theil eine Bogenminute ist,

$$x = \tfrac{1}{15}\left(\alpha - (m + P)\right)$$

erhält, und man sieht also, dafs dieser Ausdruck blofs von der Gröfse m oder, was dasselbe ist, von der Gröfse $L = m + P$ abhängt, wo L die mittlere Rectascension der zweiten oder, was nach dem Vorhergehenden dasselbe ist, wo L die mittlere Länge der ersten oben betrachteten mittleren Sonne bezeichnet. Entwickelt man auf diese Weise den letzten Ausdruck als blofse Function von L, indem man für den Anfang des gegenwärtigen Jahrhunderts $\varepsilon = 0{,}016791$, $e = 23^\circ\,27'\,57''$ und $P = 279^\circ\,29'\,0''$ annimmt, so erhält man, wenn man die Glieder unter einer Secunde wegläfst, für den gesuchten Ausdruck der Zeitgleichung

Digitized by Google

$$x = 79'',4 \text{ Sin. L} + 435'',8 \text{ Cos. L} - 597,1 \text{ Sin. 2 L} + 1,6 \text{ Cos. 2 L} - 3,4 \text{ Sin. 3 L} - 18,8 \text{ Cos. 3 L} + 13,2 \text{ Sin. 4 L}$$

und nach dieser Gleichung wird die Gröfse x in den astronomischen Ephemeriden berechnet, aus welchen sie dann unsere besseren Kalender entnehmen.

L.

Sphäre.

Himmelskugel, Weltkugel; *Sphaera coelestis;* Sphère, Sphère du monde; *Sphere.*

Sphäre (vom griechischen Worte *σφαῖρα*) heifst jede Kugel, daher sphärisch so viel als rund. In der Dichtersprache und bei den Alten heifsen Sphären die hohlen Kugelschichten, in deren Mittelpuncte die Erde sich befinden sollte, an denen die verschiedenen Himmelskörper befestigt gedacht wurden, um gemeinschaftlich mit diesen sich zu bewegen, eine Bewegung, die nach einem gewissen höheren Rhythmus statt finden sollte und daher, wie anderweitige rhythmische Bewegungen, entweder selbst eine harmonische Musik erzeugte, oder nach einer solchen vor sich ging; daher der Ausdruck *Sphärenmusik.* In der Astronomie bezeichnet Sphäre die hohle Himmelskugel, die uns wegen des ohne künstliche Mittel und nach der bloſsen Betrachtung unmefsbaren, also unter sich gleich scheinenden Abstandes der Himmelskörper kugelförmig erscheint. Zu dieser Sphäre gehören dann nicht bloſs die sämmtlichen Himmelskörper, durch die sie eigentlich erst gebildet wird, sondern auch die Abtheilungen, die man zur Bezeichnung der Orte der Himmelskörper angenommen hat, als Aequator, Ekliptik u. s. w. Diese nämlichen Abtheilungen hat man auch auf die Erde übergetragen und so bedeutet in der Geographie Sphäre auch unsere Erdkugel in Beziehung auf diese Eintheilungen, die auf unserer Erde angenommen und bis zu unmefsbarer Entfernung verlängert mit denen der Himmelskugel zusammenfallen. Bei der Betrachtung der Sphäre müſsten also diese Eintheilungen theils an sich, theils rücksichtlich ihrer Bezeichnungen zur Untersuchung kommen, allein diese

Digitized by Google

Gegenstände sind bereits in den Artikeln *Himmel*, *Himmelskugel*[1] und in denen, die den einzelnen genannten Abtheilungen gewidmet wurden, abgehandelt worden; hier kann also nur noch von den speciellen Bezeichnungen die Rede seyn, die sich zunächst auf den bestimmten Ausdruck *Sphäre* beziehn.

Man hat zuerst die *Armillarsphäre* oder *Ringkugel*[2], die aus Ringen besteht, welche die gröfsten Kreise darstellen, durch die man die Abtheilungen am Himmel und auf der Erde zu bezeichnen pflegt. Aufserdem giebt es noch drei Sphären, welche dadurch entstehen, dafs der Beobachter sich auf verschiedenen Puncten der Erde befindet, wodurch dann die durch seinen Scheitel gehende verlängerte Vertical-Linie die Lage der Horizontalebene in der Art bedingt, dafs diese bis zum Himmelsgewölbe verlängert diese hohle Sphäre und deren Abtheilungen auf verschiedene Weise schneidet. Geschieht dieses so, dafs der Aequator auf der Horizontalebene mit seinen Enden lothrecht steht, beide Pole also im Horizonte liegen und Zenith sowohl als auch Nadir in den Aequator fallen, so erhält man die *gerade Sphäre* (*Sphaera recta;* Sphère droite; *Right or direct sphere*). Sie hat ihren Namen daher, weil in ihr sowohl der Aequator, als auch alle Parallelkreise auf dem Horizonte gerade stehen oder mit der Horizontalebene zwei rechte Winkel bilden, ebenso wie man die Bewegung der Gestirne im Aequator oder mit diesem parallel eine gerade (*ascensio recta, Rectascension*, gerade Aufsteigung) nennt. Zugleich sind dann die Tagebogen aller Gestirne gleich, sie verweilen ebenso lange über, als unter dem Horizonte. Fällt dagegen die Horizontalebene mit dem Aequator zusammen, so dafs die verlängerte Erdaxe oben in das Zenith, unten in das Nadir kommt, so hat man die *parallele Sphäre* (*Sphaera parallela;* Sphère parallèle; *Parallel sphere*). Sie hat ihren Namen daher, weil alle Himmelskörper in Bahnen, die mit dem Aequator parallel sind, binnen 24 Stunden einen ganzen Umlauf vollenden, mithin weder auf- noch untergehen. Sollte sie einem Beobachter in der Wirklichkeit dargestellt werden, so müfste dieser sich unter dem Pole unmittelbar befinden; er würde dann blofs die Sterne

---

1 S. *Himmelskugel.* Bd. V. S. 262.
2 S. *Ringkugel.* Bd. VII. S. 1395.

der einen Halbkugel, die Sonne aber 6 Monate über und ebenso lange unter dem Horizonte sehen. So wie die gerade Sphäre blofs für den Beobachter unter dem Aequator und die parallele für einen unter dem Pole besteht, findet für alle andere Orte auf der Erde die *schiefe Sphäre (Sphaera obliqua;* Sphère oblique; *Oblique Sphere*) statt, denn alsdann werden sowohl der Aequator als auch die Parallelkreise durch die Horizontalebene schief, das heifst so geschnitten, dafs sie mit dieser gröfsere, als rechte Winkel bilden. In diesem Falle verweilen einige Himmelskörper länger, andere kürzer über dem Horizonte, einige derselben kommen gar nicht über denselben, andere sinken nicht unter ihn hinab, und die Tage sowohl, als auch die Nächte sind in eben dem Mafse ungleich, als die Zahl der Sterne gröfser ist, die gar nicht über den Horizont kommen und nicht unter ihn hinabsinken, oder jemehr sich die gerade Sphäre der parallelen nähert.

Die Sache ist an sich so leicht und kann so ohne alle Schwierigkeit vorgestellt werden, dafs es sich nicht der Mühe verlohnt, sie durch Zeichnungen anschaulich zu machen.

M.

Sphärometer.

Das Sphärometer (Sphéromètre, von *σφαῖρα*, eine Kugel) war anfangs blofs bestimmt, die Krümmungen der für Fernröhre verfertigten Gläser mit Genauigkeit zu messen. Mit Unrecht wird der Duc de Chaulnes von Einigen der Erfinder desselben genannt, indem dieser blofs eine Beschreibung davon geliefert hat[1], der eigentliche Erfinder hat sich nicht genannt[2], indefs construirte er das erste Sphärometer im Jahre 1763, und es wurde dann bei der Verfertigung des zwölffufsigen Achromaten für den Abbé Rochon gebraucht, nachher aber von Antheaume, L'Etang, Bouriot und andern zu gleichen Messungen benutzt. Bouriot liefs sich ein ähnliches Instrument verfertigen und versah es mit einem Nonius,

1 In Mém. de l'Acad. 1767.

2 Rozier in Journ. de Phys. T. VII. p. 484. Der Erfinder schreibt blofs die Buchstaben seines Namens D. L. B. und der Redacteur erwähnt, dafs er unbekannt bleiben wolle.

welcher die Linie in 40 Theile theilte, allein dieses blieb hinter dem ersteren weit zurück, welches nach der Behauptung des Erfinders, die jedoch auf keine bestimmte Zahlenangaben gestützt ist, den 2800sten Theil einer Linie messen sollte. Dieses erste Sphärometer war sehr zusammengesetzt und nach der damaligen Ausführungsart der Künstler ausnehmend mit Zierrathen, darunter auch vermeintlichen, überladen, es steht jedoch hinter den neueren, deren man sich später bediente, sehr zurück, insbesondere ist gar nicht zu erwarten, dafs die dazu wesentlich gehörende Mikrometerschraube diejenige Genauigkeit gehabt habe, die neuere Künstler dieser zu geben vermögen. Die sehr ausführliche Beschreibung desselben hier mitzutheilen würde gegenwärtig ohne Nutzen und Interesse seyn.

Neuerdings ist das Sphärometer vorzüglich von Cauchoix angewandt worden, um die Gestalt der Linsengläser damit zu bestimmen, aufserdem aber bedient man sich desselben zum Ausmessen der Dicke derjenigen dünnen Blättchen, welche, hauptsächlich von Blättergyps, die verschiedenen Farben im polarisirten Lichtstrahle geben, wie dieses namentlich durch Biot[1] geschehn ist, wodurch dann dieser nützliche Apparat allgemeiner bekannt wurde. Es können indefs selbst feine Drähte damit gemessen werden, wenn man diese in einen Ring zusammenbiegt oder zwei Stückchen zur Bildung einer Fläche neben einander legt; überhaupt aber ergiebt sich der Gebrauch des Instrumentes in einzelnen Fällen leicht, sobald man es seinen Theilen nach kennt[2].

Das Sphärometer besteht aus einem Dreifufs von Messing, die Spitzen der Füfse von Stahl, unten etwas abgerundet, so dafs sie mit der Glasplatte A B beim Aufstellen zur genauesten Berührung kommen. Bei dieser Bodenplatte von Glas ist nothwendig, dafs ihre obere Fläche vollkommen polirt und ganz eben sey, damit beim Aufstellen des Dreifufses auf dieselbe die durch die Mitte des letzteren gehende Mikrometerschraube, wenn sie gehörig herabgeschraubt ist, in jeder Stellung mit den drei Spitzen in eine Ebene falle. Die Fig. 347.

1 Traité de Phys. T. IV. p. 343.

2 Bei der folgenden Beschreibung bin ich Biot gefolgt. Vergl. Baumgartner Supplem. S. 30.

möglichst feine Mikrometerschraube hat oben einen geränderten Knopf, um mittelst desselben um ihre Axe gedreht und sowohl höher als auch niedriger gestellt zu werden; auch ist sie unten mit einer feinen und gut polirten Stahlspitze versehen, um die feinste Berührung mit einer untergelegten Platte zu erhalten. Die obere Scheibe g h ist am Rande getheilt, um beim Auf- und Abwärtsschrauben der Mikrometerschraube Theile einer Umwindung oder der Höhe eines Schraubenganges abzugeben, und der Stab c d, welcher gleichfalls in Theile eines gewissen bestimmten Mafses (z. B. in Millimeter oder Theile der Linie) getheilt ist, dient als Abfahrpunct bei mikrometrischen Messungen. Will man nämlich die Dicke eines Körpers messen, so stellt man den Dreifufs auf die Glasplatte, schraubt die Mikrometerschraube so weit herab, dafs sie die Glasplatte genau berührt, bemerkt die Theilung, welche die Scheibe dann anzeigt, legt den zu messenden Körper darunter und schraubt so weit in die Höhe, bis die Stahlspitze mit demselben abermals genau zur Berührung kommt, worauf dann die Zahl der Umdrehungen bei bekannter Höhe der Schraubenwindungen die Dicke des Körpers giebt. Manche Körper, namentlich der erwähnte Blättergyps, Kalkspath u. s. w., sind jedoch zu weich, die Stahlspitze würde in sie eindringen und unrichtige Resultate geben. Für diese und sonstige geeignete Fälle bedient man sich einer Hülfsplatte β von Glas, welche fein polirt und von ganz ebenen, völlig parallelen Flächen seyn mufs, wie sich eben vermittelst des Sphärometers auffinden läfst, legt diese über das zu prüfende Blättchen α und bringt die Spitze der Mikrometerschraube hiermit zur Berührung. Es versteht sich dabei von selbst, dafs die Dicke dieser Hülfsscheibe ein für allemal bestimmt und von der gemessenen Höhe abgezogen werden mufs, oder aber man legt diese anfangs auf die eigentliche Glasplatte A B, bringt die Spitze der Mikrometerschraube mit der Platte β zur Berührung, legt dann das zu messende Blättchen unter und mifst auf die angegebene Weise dessen Dicke.

Baumgartner giebt genau das Verfahren an, was anzuwenden ist, wenn man sichere Resultate erhalten will. Man drücke mit zwei Fingern sanft auf zwei der Füfse, damit diese fest auf der Bodenplatte ruhn, und klopfe dann mäfsig mit einem Finger auf die dritte auf. Ragt die Spitze der Mikro-

Digitized by Google

meterschraube über die Ebene der drei Fufsspitzen hinaus, wenn man das Instrument blofs auf die Platte A B gestellt hat, oder drückt sie zu stark auf die untergelegte Hülfsplatte, so erzeugt das Aufklopfen ein Klappern, welches um so viel stärker ist, je mehr die Spitze hervorragt. Man schraubt dann die Mikrometerschraube rückwärts, bis das Klappern nach allmäliger Abnahme gänzlich verschwindet; um aber zu verhüten, dafs die Spitze nicht zu weit zurückgezogen sey, schraubt man sie ein wenig wieder vorwärts, versucht, ob das Klappern wieder anfängt, und gelangt auf diese Weise durch wiederholtes Probiren endlich mit gröfster Schärfe zur genauen Berührung. Den so erhaltenen Stand der Schraube bemerkt man an der Theilung der Stange c d und den Theilen der Scheibe, oder man beschränkt sich blofs auf die letzteren, dreht die Scheibe um die ungefähr erforderliche Anzahl Male rückwärts, legt das zu prüfende Blättchen darunter, bringt die Spitze der Mikrometerschraube auf die eben angegebene Weise wieder zur Berührung, bemerkt durch Hinzuzählen und Abziehn der rückwärts gemachten Drehungen, wie viele Umdrehungen der Schraube für die Dicke des Blättchens erforderlich sind, und berechnet dann diese nach der Höhe der einzelnen Windungen.

Die Feinheit der Messung hängt von der Genauigkeit dieser Art der Messung und von der Feinheit der Mikrometerschraube ab. Baumgartner giebt an, dafs das Wiener Instrument sich bis auf $\frac{1}{300}$ einer Umdrehung der Scheibe einstellen lasse, und da die Höhe eines Schraubenganges 0,15 Linien beträgt, so giebt dieses eine Messung von 0,0003 Linie. Den Werth eines Schraubenganges findet man dadurch, dafs man sie so oft, als der genaue Mafsstab c d verstattet, umdreht und aufsucht, um wie viele Theile eben dieses Mafsstabes sie in die Höhe gekommen sey, worauf dann die Zahl der Umdrehungen in diese Gröfse dividirt die Höhe eines Schraubenganges giebt. Ist dieser $= \frac{1}{m}$ Linie und die Scheibe in n Theile getheilt, so ist $\frac{1}{n} \times \frac{1}{m}$ Linie der Werth eines Theiles der Scheibe. Das Wiener Instrument erfordert 80 Umdrehungen der Schraube für einen Zoll; $\frac{1}{n}$ ist daher

$= \frac{12}{80}$ Lin. $= 0{,}15$ Linie, und da m $= 100$ ist, so ergiebt sich hieraus der Werth eines Theiles der Scheibe $= 0{,}0015$ Linie. Das von Biot gebrauchte Instrument hatte eine Schraube mit Gewinden, deren Höhe 0,56466 Millimeter betrug, und da die Scheibe in 250 Theile getheilt war, so betrug jeder Theil 0,00225864 Millimeter. Als Probe der wirklichen Berührung der Mikrometerspitze giebt er an, dafs man das Instrument nur auf der Platte zu verschieben nöthig habe, um dann aus dem eigenthümlichen Tone zu hören, dafs die drei Tragspitzen sich auf der Platte ruhend befinden; wird dann die Mikrometerschraube so weit herabgeschraubt, dafs ihre Spitze etwas hervorragt, so fällt der vorher gehörte Ton weg und das Sphärometer fängt an zu schaukeln. Durch allmälige Verminderung dieses Schaukelns und wiederholtes Hin- und Herschieben des Instrumentes auf der Glasplatte kann man allmälig zur genauen Berührung mit der Mikrometerspitze gelangen. Baumgartner's Verfahren scheint jedoch den Vorzug zu haben, indefs ist die Aufgabe an sich für einen geübten Experimentator nicht schwer.

M.

Spiegel.

Speculum; Miroir; *Mirror.*

Spiegel nennt man jede gerade oder krumme Fläche, welche hinlänglich geebnet ist, um das auffallende Licht so zu reflectiren, dafs dadurch Bilder der Gegenstände im Auge erzeugt werden. Die Hauptbedingung des Spiegelns ist daher eine hinlängliche Glätte der Oberflächen, auf welche die Lichtstrahlen von den Objecten fallen, und in diesem Sinne nennt man die Ebene des Meeres, selbst wenn diese durch Wellen gefurcht keine Bilder der Gegenstände reflectirt, den *Meeresspiegel.* Sofern also die Glätte der Oberfläche das Spiegeln bedingt, könnte die physische Beschaffenheit der Körper selbst als gleichgültig erscheinen, sie ist es aber nicht ganz, indem vielmehr ihre Dichtigkeit und Undurchsichtigkeit bedingend einwirken. Die Glätte setzt voraus, dafs möglichst viele Puncte in die nämliche Ebene fallen, und es können daher auch rauhe Körper eine Spiegelung, wenn auch nur eine unvollkommene,

Digitized by Google

erzeugen, sobald die genannte Bedingung bei ihnen eintritt, weswegen lange Lineale, Breter und selbst sehr lange Mauern eine geringe Spiegelung bewirken, wenn die Lichtstrahlen der Objecte in einem sehr kleinen Winkel mit ihnen auffallen und daher bei ihrer grofsen Ausdehnung eine hinlängliche Menge in der nämlichen Ebene hinter einander liegender Puncte treffen. Ebendaher spiegeln auch eine Menge Körper einen geringen Theil des auf sie fallenden Lichtes, denen man jedoch deswegen den Namen der Spiegel nicht beilegt.

Die gebräuchlichen Spiegel bestehn der Materie nach aus durchsichtigen oder aus undurchsichtigen Körpern. Die durchsichtigen Körper sind wieder entweder flüssig oder fest. Die ersten, als Wasser, Oel, Weingeist u. s. w., die bei den künstlichen Horizonten zur Reflexion des Sonnenbildes oder der Sternbilder dienen, auch wohl zur Beobachtung der Sonnenfinsternisse und der Höfe um die Sonne in Anwendung kommen, erhalten ihrer Natur nach von selbst eine ebene Oberfläche. Unter die Merkwürdigkeiten gehört, dafs auch Nebel eine unvollkommene Spiegelung erzeugen, wie man namentlich wahrnimmt, wenn man im Finstern bei dickem Nebel ein Licht in das geöffnete Fenster setzt oder hinaushält, in welchem Falle man sein eigenes Bild und das des Lichtes reflectirt sieht. Hiermit übereinstimmend sehn Menschen zuweilen ihr eigenes Bild in dunstigen Zimmern, eine allerdings seltene Erscheinung, die man deswegen seltsamer Weise für Vorbedeutung des nahen Todes hält. Feste durchsichtige Körper spiegeln gleichfalls, sobald sie durch Politur eine hinlänglich ebene Oberfläche erhalten können, wie namentlich das Glas. Das Wesen der Spiegelung liegt also darin, dafs die einzelnen Puncte der glatten Oberfläche eine solche Lage haben, vermöge deren die von einem Puncte eines Objectes auf dieselben fallenden Lichtstrahlen in einer bestimmten Richtung ins Auge zurückgeworfen werden, die von einem anderen, neben dem ersten liegenden Puncte auf eine andere Stelle fallenden aber so reflectirt werden, dafs beide mit den Einfallslothen in die spiegelnden, verschwindend kleinen Flächen gleiche Winkel bilden, so dafs also die Richtung der Lichtstrahlen nach der Reflexion unverändert bleibt oder eine regelmäfsige Veränderung derselben statt findet. Hiernach kommen also die von der Spiegelfläche reflectirten Lichtstrahlen

entweder genau oder nach regelmäfsiger Veränderung so in das Auge, als ob keine Spiegelung statt gefunden hätte; man sieht demnach das Bild, statt dafs man bei regellos von jedem einzelnen Puncte des Spiegels zurückgeworfenen Lichtstrahlen diesen, aber kein gespiegeltes Bild gesehn haben würde. Die besten Spiegel sind daher, insbesondere aus der Ferne gesehn, dunkel, weil man sie selbst nur wenig sieht. Ebendaher sind die Ebenen im Monde, die Meere und grofse Ebenen auf der Erde aus grofser Ferne gesehn dunkel.

Die härtesten Körper nehmen die beste Politur an und liefern daher auch die vollkommensten Spiegel, weil sich die feinsten Theile derselben in den kleinsten Partikeln durch die Polirmittel wegnehmen lassen und daher die meisten in einer gleichförmigen Ebene neben einander liegenden Puncte geben. Am besten eignen sich daher Metalle und vorzugsweise die härtesten zu Spiegeln, auch spiegeln alle ebene Metallflächen, sobald sie gehörig polirt sind, Bilder der Gegenstände und zwar mit einer ihrer Blänke proportionalen Helligkeit. Der gefarbte Stahl giebt daher die besten Spiegel, hat aber den Fehler des leichten Rostens; die edlern Metalle, Gold und Platin, haben nicht die erforderliche Härte, um eine hinlängliche Politur anzunehmen. Man nimmt daher zu den Spiegeln der optischen Instrumente meistens eine Composition, die hart und spröde ist, wozu sich unter andern die Mischungen aus Kupfer und Zinn, z. B. 64 Theile Kupfer und 29 Theile Zinn, oder 32 Theile Kupfer, 15 Theile Zinn, 1 Theil Messing und 1 Theil Arsenik, die nach dem Erkalten einen hohen Grad der Härte und Sprödigkeit besitzen, vorzüglich eignen. Nach Edwards[1] soll man 32 Unzen Kupfer und 15 Unzen Zinn, beides sehr rein, zusammenschmelzen, dann von dieser Composition einen Theil mit noch etwas Zinn in verschiedenen Quantitäten versetzen, um die beste Mischung aufzufinden, die man hernach für den eigentlichen Gufs wählt, indem man der bereits geschmolzenen und erkalteten Masse bei einer zweiten Schmelzung den noch erforderlichen Antheil Zinn und zuletzt erst das Arsenik zusetzt, wovon man immerhin etwas mehr nehmen kann, weil sich ein grofser Theil davon verflüchtigt. Ein Zusatz von etwas Silber soll gleichfalls vortheilhaft seyn. Am

1 Nautical Almanac for 1787. G. XII. 167.

einfachsten ist die aus 2 Theilen Kupfer und 1 Theil Zinn bestehende Mischung, welche nach den Versuchen von Simons[1] das beste Spiegelmetall giebt. Die Art des Giefsens der Spiegel, das Schleifen und Poliren derselben ist den neuern geübten Künstlern so bekannt, dafs eine Anweisung hierzu überflüssig seyn würde[2].

Metallspiegel sind auf jeden Fall kostbar, und wenn sie auch im Zustande der Neuheit ausnehmend schöne Bilder geben, so werden sie doch durch jedes Anfassen blind, auch die besten rosten leicht, abgerechnet dafs der Metallgufs spröde ist, daher nach dem Erkalten leicht springt, weswegen sehr grofse Spiegel fast unbezahlbar seyn würden, und aufserdem finden sich im Innern der Masse leicht nicht gehörig rein geflossene Stellen, die als Vertiefungen beim Poliren zum Vorschein kommen. Man wählt daher zum gewöhnlichen Gebrauche die Glasspiegel, die wieder von verschiedener Art sind. Die harten schwarzen Glasmischungen geben für sich polirt brauchbare Spiegel und insbesondere sind die Kugeln aus demselben sehr geeignet, das Bild der Sonne bei optischen Versuchen zu reflectiren, sie sind jedoch bis jetzt nicht sehr in Gebrauch gekommen, auch reflectiren sie nicht so vieles Licht, als die gewöhnlichen foliirten Glasspiegel. Alle übrigen gefärbte Glasarten geben um so viel hellere Bilder, je tiefer ihre Farbe ist, denn beim Glase sowohl, als auch bei allen durchsichtigen Körpern wird zwar ein grofser Theil des Lichtes von der Oberfläche reflectirt, allein ein grofser Theil dringt auch in dieselben ein. Aber nicht blofs dieser Verlust schwächt die Helligkeit des erzeugten Bildes, sondern auch das Licht, welches rückwärts durch dieselben fallend ins Auge gelangt. Aufserdem aber geben die von zwei Flächen begrenzten durchsichtigen Körper zwei Bilder, indem nicht blofs die vordere Fläche einen Theil des auffallenden Lichtes reflectirt, sondern auch die hintere einen Theil von dem eingedrungenen. Hiervon überzeugt man sich, wenn man einen etwa 2 Zoll breiten, 6 bis 9 Zoll langen und über eine Linie dicken Streifen Spiegelglas zum dritten Theile seiner Länge unverändert läfst,

---

1 G. XXXVI. 403.

2 Ueber das ältere Verfahren s. Edwards a. a. O. und Mudge in Phil. Trans. T. LXVII.

Digitized by Google

ein Drittel aber mit schwarzem Tusch oder Lack (Copalfirnifs mit etwas Terpentinspiritus verdünnt und mit Kienrufs zusammengerieben) an der hintern Fläche überzieht, das letzte Drittel aber gleichfalls nur an der hintern Fläche mit feinem Schmirgel matt schleift. Läfst man eine Kerzenflamme nach einander in diesen drei Abtheilungen sich spiegeln, so zeigt die freie deutlich zwei Bilder, die geschwärzte ein helles von der vordern Fläche und ein matteres von der hintern, bei der mattgeschliffenen aber fällt das hintere Bild ganz weg.

Hiernach giebt es also Glasspiegel aus Scheiben, die an der hintern Seite matt geschliffen sind, jedoch gehören diese nicht zu den gewöhnlichen, obgleich sie zu künstlichen Horizonten und einigen optischen Versuchen gebraucht werden, gebräuchlicher sind die mit einer geschwärzten hintern Fläche, namentlich zu optischen Apparaten und zum Zeichnen, indem namentlich kleine convexe Spiegel sehr nette, zum Copiren gut geignete, verkleinerte Bilder der Landschaften zeigen und sich daher bequem auf Reisen mitnehmen lassen, um Zeichnungen in natürlicher Perspective aufzutragen. Die gewöhnlichen Glasspiegel sind die foliirten, deren Verfertigungsart bereits oben[1] beschrieben ist. Eigentlich sind dieses Metallspiegel; denn es ist die metallische Folie und nicht die Glasfläche, welche die Bilder erzeugt, allein das Metall an sich würde wegen zu grofser Weichheit keine Politur annehmen, die es leichter durch sein Anliegen an die polirte Glasfläche erhält, und aufserdem wird die Oberfläche desselben durch die bedeckende Glastafel gegen Schmutz und sonstige Beschädigung geschützt. Inzwischen fällt bei diesen Spiegeln, die man zum Luxus von ausnehmender Gröfse und Schönheit verfertigt, das durch die andere Glasfläche erzeugte Bild keineswegs ganz weg, es wird nur durch das weit hellere der Metallfläche so sehr verdunkelt, dafs man es gewöhnlich nicht wahrnimmt, jedoch kann man sich durch das Nebeneinanderfallen beider Bilder einer genäherten Kerzenflamme von seiner Anwesenheit überzeugen. Wegen dieser Anwesenheit des zweiten Bildes sind Glasspiegel für die meisten optischen Apparate nicht geeignet.

Noch kann in Beziehung auf Spiegel aus durchsichtigen Körpern, namentlich aus Glas, bemerkt werden, dafs die von

---

1 *Adhaesion*. Bd. I. S. 177.

Digitized by G

der Vorderfläche reflectirten Bilder, wie auch die Farbe des spiegelnden Körpers seyn mag, von dieser Farbe nichts annehmen, was beweist, dafs die reflectirten Lichtstrahlen in das Innere der Materie nicht eingedrungen waren. Dagegen nehmen die von der hintern Fläche reflectirten Bilder die Farbe der Körper an, und auch die von der vordern zurückgeworfenen erhalten in einem desto höhern Grade einige Färbung, je mehr von dem farbigen Lichte entweder von der hintern Fläche aus, oder von dem, welches durch den Körper fällt, ins Auge gelangt. Die Bilder müssen daher um so weniger hierdurch gefärbt seyn, je kleiner der Winkel ist, in welchem die Lichtstrahlen der gespiegelten Objecte auf die Fläche des spiegelnden Körpers auffallen.

Da die Ebenheit der Fläche das Wesen der Spiegel bedingt, so mufs jeder Spiegel um so vollkommner seyn, je ebener er ist. Eine vollkommene Ebene, auf der sich auch für die verschwindend kleinen Lichtstrahlen gar keine Rauhheiten befinden, giebt es jedoch nicht, und somit auch keinen vollkommnen Spiegel, d. h. einen solchen, welcher alles auffallende Licht ohne irgend einen Verlust reflectirt. Jeder Spiegel bewirkt daher eine Lichtverminderung, und wenn gute Spiegel ein helleres Bild zu geben scheinen, als die frei gesehnen Objecte selbst, so beruht dieses auf einer Täuschung, welche dadurch entsteht, dafs beim Sehen der Gegenstände Licht von ihrer Umgebung gleichzeitig ins Auge fällt, welches durch die spiegelnde Fläche gröfstentheils abgehalten wird. Die Intensität der gespiegelten Bilder, hauptsächlich wenn man sich selbst in einem Spiegel betrachtet, ist daher verschieden, je nachdem das Object mehr oder weniger beleuchtet ist und anderweitig einfallendes Licht den Eindruck schwächt; von einer wirklich statt findenden Lichtverminderung überzeugt man sich aber bald, wenn man das Bild nach einander von mehrern Spiegeln reflectirt werden läfst, in welchem Falle die Verminderung der Lichtstärke bald so bedeutend wird, dafs man das Object kaum noch gewahr wird. Man nimmt gewöhnlich an, dafs mittelmäfsige Glasspiegel 0,4816 des auffallenden Lichtes, die besten aber noch 0,3494 desselben verschlucken. Dafs auch die Metallspiegel nicht alles auffallende Licht reflectiren können, geht schon daraus hervor, dafs die polirtesten Metalle unter stark vergröfsernden Mikroskopen

Rauhheiten und Vertiefungen zu zeigen pflegen. Aufserdem dringt das Licht auch in die Metalle ein, wie aus der Durchsichtigkeit dünner Metallblättchen oder vielmehr dem Durchscheinen derselben hervorgeht. Befinden sich geringe Vertiefungen (Furchen) in den polirten Metallflächen, die nachher wieder überpolirt sind, so zeigen sich diese nicht beim Anblicke, wohl aber im reflectirten Bilde. Hieraus erklärt Brewster[1] die Figuren im Bilde eines chinesischen Spiegels, worauf dieses künstlich hervorgebracht seyn mufs.

Der Gebrauch der Spiegel ist sehr alt und die frühsten waren von Metall. Eine Andeutung von ihnen will man im Hiob[2] finden. Plinius[3] aber sagt deutlich, dafs die Frauen bei religiösen Feierlichkeiten mit Metallspiegeln geschmückt waren, die vorzüglich gut zu Brundisium gemacht wurden. Nach Cyrill von Alexandrien[4] lernten die Hebräer den Gebrauch der Spiegel von den Aegyptiern kennen und dann könnte sich eine Stelle im Moses[5] auf diese beziehn. Da die Alten das Erz, eine Mischung aus Kupfer und Zinn, die sich zu Spiegeln vorzüglich eignet, sehr gut kannten, so ist kaum zu bezweifeln, dafs ihnen die Eigenschaft des Spiegelns, welche dasselbe nach der Politur erhält, bekannt war. Ohne Zweifel hatten sie aber auch Spiegel von andern Metallen und auf jeden Fall verfertigte Praxiteles[6] Spiegel von Silber. Aufser den Metallen gebrauchten die Alten auch harte dunkle Steine zu Spiegeln, namentlich den Obsidian, welchen Obsidius[7] zuerst in Aethiopien fand, wonach man ihn bis jetzt benennt, und den sie auch künstlich nachmachten. Solches Glas zu Spiegeln wurde zu Sidon verfertigt, und man behielt sie fortwährend bei, so dafs die Metallspiegel mehr in Abnahme kamen, indem Peckham[8] im 13ten Jahrhundert diese als seltener erwähnt. Raymundus Lullus († 1315) beschreibt

---

1 Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. VI. p. 438. Poggendorff Ann. XXVII. 485.

2 Cap. XXXVII. v. 18.

3 Hist. Nat. L. XXXIII. cap. 9. L. XXXIV. cap. 17.

4 De adoratione in Spiritu. Lib. II.

5 Exod. cap. XXXVIII. v. 8.

6 Plinius a. a. O.

7 Ebend. Lib. XXXVI. cap. 26. (Sect. 67. ed. Bip.)

8 Perspectiva communis.

Digitized by Google

das ganze Verfahren, wie man das Glas durch hintergelegtes Blei zum Spiegel machte. Die Kunst, das Glas zu gröfsern Tafeln zu giefsen, erfand Abraham Thewart 1688 in Frankreich, die Verbesserung der optischen Metallspiegel datirt sich aber von Newton her.

Die Theorie des Spiegelns überhaupt, gegründet auf das Wesen des Lichtes und der spiegelnden Körper rücksichtlich dieser speciellen Wirkung, ist bereits erörtert worden[1], und zwar nach beiden Theorieen, sowohl der Emissions- als auch der Undulations-Theorie, und es können hier also nur noch die Wirkungen der Spiegel nach ihrer Gröfse und Gestalt in Betrachtung kommen. Die Gröfse derselben erfordert keine allgemeine Untersuchung, da sich bei der Betrachtung der einzelnen speciell gestalteten Spiegel von selbst ergiebt, inwiefern sie zur Erzeugung der Bilder genügen. Die Gestalt der Spiegel ist rücksichtlich des Aeufsern gleichgültig, und es kommt blofs die der spiegelnden Fläche in Betrachtung, je nachdem diese eine gerade oder gekrümmte ist. In dieser Beziehung unterscheidet man *gerade* oder *plane* Spiegel und *gekrümmte*, zu denen die *Cylinderspiegel*, *Hohlspiegel*, *Kegelspiegel* und *Kugelspiegel* gehören, und da diese bereits in eignen Artikeln untersucht worden sind, so bleiben blofs noch die *ebenen* Spiegel übrig.

Wenn nach Theorie und Erfahrung als ausgemacht betrachtet wird, dafs für die Reflexion des Lichtes der Einfallswinkel dem Ausfallswinkel gleich ist, so sey A B ein Durchschnitt der ebenen Spiegelfläche, O das Auge des Beobachters, D D′ das gespiegelte Object, es müssen daher die Winkel D M A und F M A, die wir als dem einfallenden und ausfallenden Strahle zugehörend betrachten können, einander vollkommen gleich seyn und es sind also auch A F und A D einander gleich, da bei A rechte Winkel sind. Indem aber eben dieses für alle Strahlen gilt, die vom Puncte D bis zum Puncte D′ herab vom Objecte auf den Spiegel fallen, so folgt hieraus der Hauptsatz der Spiegelung gerader Spiegel, nämlich: *das erzeugte Bild ist gerade, dem Objecte vollkommen gleich, und befindet sich hinter der spiegelnden Fläche in der nämlichen Entfernung, in welcher das Object sich vor demselben befindet.* Ist das Object gegen die verticale Ebene des Fig. 348.

1 S. *Licht*. Bd. VI. S. 315 u. 339.

Spiegels geneigt, so finden für die hiernach vom Spiegel entfernteren Theile die nämlichen Gesetze statt. Das Bild wird also auf gleiche Weise geneigt erscheinen. Sieht ein Mensch sich selbst in einem Spiegel, so ist die vordere Seite des Bildes ihm selbst zugewandt, und ebendieses ist der Fall bei einem jeden andern von ihm gesehenen Gegenstande. Hieraus wird in Beziehung auf die durch Bewufstseyn gegebene Stellung des Sehenden im Bilde dasjenige zu Rechts, was im Objecte Links ist, wovon man sich am leichtesten überzeugt, wenn man sich selbst oder einen andern Schreibenden im Spiegel betrachtet und die Feder scheinbar in der linken Hand wahrnimmt. Bei Operationen, die man vor dem Spiegel vorzunehmen gewöhnt ist, fällt dieses nicht auf, bei ungewohnten aber wird man die Richtungen beim Anblicke des Bildes verwechseln und man mufs die Vorstellung des Bildes entfernen, wenn die Hand die geeignete Bewegung machen soll.

Wenn jemand sich selbst in einem Spiegel betrachtet oder Object und Auge sich in gleichem Abstande von einander befinden, so mufs die Spiegelfläche halb so grofs seyn, als die Fläche des gespiegelten Körpers, wenn ein vollständiges Bild entstehn soll. Um dieses zu zeigen, sey IG ein Durchschnitt der spiegelnden Fläche, AB die Ebene des Bildes, ab die des Objectes. Man wähle irgend einen Punct P in der Ebene des Bildes, ziehe von hier aus nach den äufsersten Enden des Objectes die geraden Linien aP und bP, so geben die Durchschnittspuncte I und E die erforderliche Gröfse des Spiegels. Es ist aber $QM = MP$ nach den Gesetzen der Spiegelung und somit ist $IE = \frac{1}{2}ab$.

Fig. 349.

Wird ein Spiegel um eine in seiner Ebene liegende Axe gedreht, während der Ort des Objectes unverändert bleibt, so ist der Winkel, um welchen sich das Bild bewegt, der doppelte desjenigen, welchen der Spiegel durchläuft, ein Theorem, welches der Construction des Spiegelsextanten und Spiegelkreises zum Grunde liegt. Es sey AB die erste Lage des Spiegels, OE der einfallende, EF der reflectirte Strahl. Kommt der Spiegel in die Lage CD, so ist OE der einfallende, EG der ausfallende Strahl. Es ist aber

Fig. 350.

$$OEM = MEF, \quad OEM' = M'EG.$$

Es ist ferner

Digitized by Google

$$OEM' = OEM + MEM' = OEM + CEA$$
$$M'EG = OEM + MEM' = OEM + CEA$$

mithin $OEG = 2OEM + 2MEM' = 2OEM + 2CEA$

und also $FEG = 2CEA$.

Das von einem Spiegel reflectirte Sonnenbild durchläuft also den Raum mit doppelter Winkelgeschwindigkeit des bewegten Spiegels und scheint daher sehr bewegt, wenn es vom wogenden Wasser auf eine etwas entfernte Fläche zurückgeworfen wird. Beim Spiegelsextanten wird das Bild des Objectes von zwei verticalen Spiegeln in einer auf den Durchschnitt beider lothrechten Ebene reflectirt und in diesem Falle ist der Winkel zwischen den beiden reflectirten Strahlen doppelt so grofs, als derjenige, welchen die Spiegel bilden. Es seyen AB und CD die beiden Spiegel, AGD der Neigungs- Fig. winkel derselben, so ist SB, BD, DH die Bahn des Licht- 851. strahls. Man verlängere HD bis O und SB bis H, so ist

$$HBG = ABS = DBG,$$
$$DBH = HBG + DBG = 2DBG$$

und auf gleiche Weise $BDO = 2BDC$.

Weil aber $BGD = BDC - DBG$,

so ist

$$2BGD = 2BDC - 2DBG = BDO - DBH = BHD.$$

Wenn zwei Spiegel BC und CD im rechten Winkel ge- Fig. gen einander geneigt sind und ein Object A bewegt sich in 852. lothrechter Richtung gegen den einen, z. B. in der Richtung von A nach B, so ist die Bewegung der Bilder a und b in den Linien aB und bc einander entgegengesetzt, wie der Anblick der Figur von selbst ergiebt. Ist dagegen die Linie, in welcher das Object A sich gegen die Ebene des einen Spie- Fig. gels bewegt, z. B. AB, eine geneigte, so findet man die Li- 853. nien aB und bc, in denen sich die beiden Bilder bewegen, wenn man Ad nach da und AD nach Db verlängert (wobei bekanntlich $Ad = da$ und $AD = Db$ seyn müssen), demnächst durch den Durchschnittspunct beider Spiegel hc parallel mit Ab zieht und $hC = Cc$ macht. Dann ergeben sich die Linien aB und bc, welche beide Bilder durchlaufen, von selbst.

Ist ein Spiegel RS in einem Winkel von 45° gegen den Fig. Horizont geneigt, so erzeugt ein verticales Object DC ein 854.

Digitized by Google

horizontales Bild dc und ein horizontaler Gegenstand AB ein verticales ab. Dieses Ergebnifs folgt unmittelbar aus den Gesetzen der Spiegelung und kommt bei den Guckkasten in Anwendung, bei denen die Figuren horizontal gelegt werden, um in dem geneigten Spiegel vertical stehende Bilder zu erzeugen. Ist ein so geneigter Spiegel grofs genug, so erscheint ein davor stehender Mensch im Bilde als liegend. Es versteht sich von selbst, dafs in der Zeichnung die Bilder die Richtung und Lage der Objecte erhalten, wenn man die entgegengesetzte Fläche des Spiegels als spiegelnd betrachtet. Ist der Spiegel in einem gröfsern Winkel als 45° gegen den Horizont geneigt, so nähert sich das Bild cd des gespiegelten verticalen Objectes mehr der lothrechten Richtung; das Umgekehrte findet statt, wenn der Neigungswinkel des Spiegels kleiner wird, als 45°.

Fig. 855. Ist ein Spiegel CD in einem gewissen Winkel gegen den Horizont geneigt und liegt unter ihm eine geneigte Ebene SB, so wird die Kugel A, die nach B herabrollt, hinter dem Spiegel von a nach b aufwärts zu steigen scheinen. Indem aber ein aufrechtes Bild von einem horizontalen Gegenstande in einem um 45° geneigten Spiegel erzeugt wird, hier aber die Kugel sich auf einer um den Winkel m gegen den Horizont geneigten Ebene bewegt, so mufs der Winkel des Spiegels CD mit der Verticallinie bS, also der Winkel $x = \frac{1}{2}$ bSB $= \frac{1}{2}(90° + m) = 45° + \frac{1}{2}m$ seyn. Ist also die Neigung von BS $= 20°$, so mufs der Winkel des Spiegels mit der Verticallinie oder $x = 55°$ betragen und er also gegen den Horizont um 35° geneigt seyn. Man verfertigt auf diese Weise einen interessant täuschenden Apparat. Ein gehörig gegen den Horizont geneigtes Bret wird mit einer gefurchten Leiste versehn, die von einer Seite zur andern schräg hinläuft und an den Ecken die gehörigen Abrundungen erhält, so dafs die Kugel, hier jederzeit umkehrend, in der Rinne von oben bis unten herabrollt. Dieses Bret selbst und der Spiegel, welcher das Bild der laufenden Kugel zeigt, werden dem Auge durch einen einschliefsenden Kasten verdeckt, in welchem sich eine Ocular-Röhre befindet, durch die man das Bild der Kugel sieht, die dann bergauf zu laufen oder vielmehr bei gehöriger Stellung des Spiegels lothrecht aufzusteigen scheint.

Aus dem bisher Gesagten geht hervor, dafs ein ebener

Digitized by Google

Spiegel nur ein einziges Bild des gespiegelten Objectes geben kann, zwei dagegen, die in einem Winkel von 90° gegen einander geneigt sind, von dem einen gespiegelten Objecte zwei Bilder geben, die gleichzeitig ins Auge fallen können. Betrachten wir den einen Spiegel als aus zweien bestehend, die in einem Winkel von 180° gegen einander geneigt sind, so geben zwei Spiegel bei 90° Neigungswinkel von einem Objecte 2 Bilder, bei 180° Neigungswinkel nur 1 Bild und bei 270° müssen zwei Objecte durch Spiegelung zu einem Bilde vereinigt werden können. Wirklich ist dieses der Fall, wie folgende Construction zeigt. Es seyen AC und BC die so geneigten Spiegel, a b und $\alpha\beta$ die gespiegelten Objecte, so werden ihre Bilder a′ b′ und α' β' gleichzeitig in O gesehn werden. Erhalten die Objecte eine solche Stellung, dafs die von a und α auffallenden Lichtstrahlen sich in C vereinigen, so berühren sich die Bilder a′ und α', und wenn die Objecte von der Art sind, dafs sie vereint nur einen Gegenstand darstellen, so wird ein solcher im Bilde zum Vorschein kommen. Man benutzt dieses zu einer Spielerei, indem man zwei passende Gegenstände, z. B. einen Vogel und einen Vogelbauer, ein Pferd und einen Reiter, als Objecte wählt und ihre Bilder durch Spiegelung vereint. Weil aber die Lichtstrahlen sich in C berühren müssen, so lassen sich zwei Glasspiegel nicht anders vereinigen, als dafs sie stets um die Dicke des Glases getrennt bleiben, und soll daher die Vereinigung der Bilder vollkommen seyn, so ist hierzu ein Metallspiegel erforderlich. Fig. 356.

Die Wirkungen mehrerer, unter beliebigen Winkeln gegen einander geneigten Spiegel, zu deren Untersuchung die Spiegelkasten Veranlassung gaben, sind zuerst durch A. G. Kästner[1] erläutert worden, nachdem Traberr[2] sich vergebens an diesem Probleme versucht hatte. Nach der lichtvollen Darstellung von Herschel[3] ist Folgendes das Wesentlichste.

Es seyen die Spiegel H′C und H″C′ in einem Neigungswinkel = C mit einander vereinigt. Befindet sich das Auge Fig. 357.

1 De multiplicatione imaginum ope duorum speculorum planorum in Diss. math. et phys. Altenb. 1757. 4. N. II.

2 Nerv. opt. L. II. cap. 4. 5.

3 Encyclop. metrop. Opt. p. 437.

in F oder noch weiter hinaus, bis F′ und F″ nach H′ und H″ gelangen, vorausgesetzt dafs F′F und F″F lothrecht auf die Spiegelflächen sind, so wird in jedem Spiegel ein Bild erzeugt werden, welche beide Bilder bei der Bewegung von F nach C einander näher rücken und bei der Ankunft in C zusammenfallen. Sind G′G und H′H ebenso wie G″G und H″H gleichfalls lothrecht auf die Enden von zwei andern in einem gegebenen Winkel gegen die beiden ersten geneigten Spiegeln, so werden zwischen G und H vier Bilder zum Vorschein kommen. Allgemein also, wenn O das Centrum eines Bogens ist, welcher zugleich übersehn werden kann, so wird das in O befindliche Auge ein sovielfaches Bild seiner selbst erzeugen und wahrnehmen, als die Zahl der die Chorden des Bogens ausfüllenden Spiegel beträgt, vorausgesetzt dafs sie zur Erzeugung der Bilder die gehörige Breite haben.

Die Wirkungen der Spiegel, die in einem Winkel gegen einander geneigt sind, so dafs ihre Ebenen einen Kreissector einschliefsen, sind oben[1] bereits erläutert worden, und es ist daher hier noch zu untersuchen, wie parallele Spiegel Bilder eines zwischen ihnen befindlichen Objectes erzeugen. Sind RT und RS die beiden parallelen Spiegel und bezeichnet HL eine sie rechtwinklig schneidende Ebene, so erzeugt TR in SR ein Bild, welches in GR liegt. Dieses Bild wirkt aber auf TR wieder wie ein Object, welches sich in GR befindet, und erzeugt also in TR ein Bild, dessen Ort LR ist. Ebendieses findet statt, wenn man mit der Wirkung von SR beginnt, und die Spiegel vervielfältigen sich daher in eine Reihe von Bildern, die sämmtlich hinter einander liegen und erst durch geringe Lichtstärke der letzten verschwinden, indem sie sonst unendlich an Zahl seyn müfsten. Ebendieses ist der Fall mit einem Objecte Q, wovon die Bilder in das Auge O fallen. Sind die Orte beider gegeben, so ist die unmittelbare Spiegelung des Q von r nach O. Das dadurch erzeugte Bild erscheint in A, wird als solches nach t reflectirt und erscheint wieder in B u. s. w. Ebenso ist es der Fall mit dem in γ einfallenden Lichtstrahle und den in a und b erzeugten Bildern. Alle Bilder liegen also in der Linie HL und ihre abwechselnden Entfernungen sind $= 2QS$ und $2QT$.

Fig. 358.

---

1 S. *Kaleidoskop*. Bd. V. S. 814.

Digitized by Google

Vermittelst solcher Spiegel verfertigt man die *Spiegelkasten* und *Spiegelzimmer*. Werden zwei Spiegel einander parallel an die beiden Seiten eines Kastens gesetzt, den man meistens mit Gaze bedeckt, um genügendes Licht durchzulassen, ohne jedoch die Construction des Ganzen dem Auge deutlich zu zeigen, und sieht man neben dem Rande des einen hinein, so vervielfältigt sich der Boden des Kastens zu einer erstaunlichen Menge hinter einander liegender Bilder. Sind beide Spiegel in einem kleinen Winkel gegen einander geneigt, so liegt eine zahllose Menge von solchen Trapezen, als die beiden Spiegel einschliefsen, neben einander, die sich zu einem ganzen Kreise vereinigen, dessen Centrum da liegt, wo die Ebenen beider Spiegel verlängert einander schneiden würden. Werden vier Spiegel in einem Kasten vereinigt, zwei parallele und zwei andere, die diese verbinden, so wird der Boden des Kastens, welcher durch diese vier Spiegel eingeschlossen ist, auf eine wahrhaft erstaunende Weise vervielfacht, so dafs blofs die abnehmende Helligkeit der äufsersten Bilder ihrer Zahl eine Grenze setzt. Befinden sich auf dem Boden bewegliche Gegenstände, als Personen, die Karten spielen, Soldaten u. s. w., die man leicht durch Drähte von unten bewegen kann, so wird die Erscheinung interessant. Zum Hineinsehn dient dann entweder eine Oeffnung oder nur eine kleine Stelle, wo die Folie weggenommen worden ist. Auch drei Spiegel von gleicher Gröfse geben einen guten Spiegelkasten, welcher oft in der Gestalt des gewöhnlich aus zwei Spiegeln bestehenden Kaleidoskops dargestellt wird. Im Grofsen wird diese Idee ausgeführt beim *Spiegelzimmer*. Ein solches besteht aus einem Polygon, dessen Wände mit Spiegeln eingefafst sind, in denen der Fufsboden oder die darin befindlichen Gegenstände bis zum Unglaublichen vervielfacht werden. Dabei ist nicht erforderlich, dafs es grofs sey, im Gegentheil verschwinden die letzten Bilder um soviel weniger, wenn seine Gröfse nicht bedeutend ist. Am auffallendsten ist die Erscheinung, wenn ein Kronleuchter zum gespiegelten Objecte dient. Solche Zimmer sind selten, was eine Folge ihrer Kostbarkeit ist, und aufserdem macht die wahrhaft zauberische Vervielfachung der Bilder den Beobachter mehr verwirrt, als sie ergötzt, so dafs der Eindruck sogar unangenehm werden kann. Beim Spiegelkasten und dem Spiegelzimmer ist erforderlich,

dafs die Objecte nicht zu grofs sind, um nicht einen Theil der gespiegelten Bilder zu decken.

M.

Spitzen, elektrische.

Cuspides conductorum electricorum; Pointes électriques; *Electric points.*

Zugespitzte Enden leitender unisolirter Körper haben die merkwürdige Eigenschaft, dafs sie die Elektricität äufserst leicht, d. h. wenn die Elektricität auch nur mit schwacher Spannung thätig ist, auf grofse Entfernungen ohne Funken annehmen und mittheilen. Stumpfe, abgerundete Enden thun dieses schon mit mehr Schwierigkeit, indem eine gröfsere Spannung der Elektricität erforderlich ist, um den Widerstand, den sie entgegensetzen, zu überwinden, und mit Entstehung eines Funkens; bei ganz platten, ebenen Flächen wird manchmal die Schwierigkeit so grofs, dafs sich selbst bei unmittelbarer Berührung keine Wirkungen der Mittheilung zeigen.

Nollet[1] bemerkte um 1746, dafs feine Spitzen das elektrische Licht schneller aussendeten, als stumpfgerundete Körper, dafs sie aber die andern Zeichen der Elektricität nicht so stark, als andere Körper, welche nicht zugespitzt waren, äufserten. Er erzählt in seinem 6ten Briefe an B. Franklin[2] über das Vermögen der Spitzen, schon vor ihm habe Jallabert in Genf die Erscheinungen an dem spitzigen Ende eines langen Leiters anders gefunden, als am andern runden Ende, und Ellicot[3], der dieses von Nollet erfahren hatte, suchte schon 1747 eine Erklärung davon zu geben. Alles dieses war aber noch so unvollkommen, dafs es mit B. Franklin's Entdeckungen hierüber gar nicht in Vergleich kommt.

Franklin erhielt die Nachricht von dieser Eigenschaft der Spitzen durch seinen Freund Thomas Hopkinson, der

---

1 Recherches sur les causes particulières des phénomènes électriques. Par. 1749. 12. p. 146.

2 Lettres sur l'Électricité. Vol.I. Par. 1753. 12. p. 130.

3 Philos. Trans. T. XLV. for 1748. No. 486. p. 210.

Digitized by Google

eine eiserne Kugel mit einer daran befestigten Nadel (um seiner Meinung nach die Elektricität in der Spitze zu concentriren) elektrisirt, aber zu seinem Erstaunen gar keine Elektricität darin gefunden hatte. So erzählt FRANKLIN die Sache in der neuern Ausgabe seiner Versuche[1], da er in der ältern[2] dieser wunderbaren Kraft der Spitzen in Ableitung und Ausströmung der Elektricität blofs als einer gemeinschaftlichen Entdeckung seiner Freunde in America gedacht hatte. Die Sache ward aber unter seinen Händen durch die Anwendung auf den Blitzableiter[3] äufserst wichtig und hat sich in der Folge an die Sätze von den elektrischen Wirkungskreisen und von der Art der Vertheilung der Elektricität auf die Oberfläche der Leiter vortrefflich angeschlossen.

I. Die Thatsachen.

Die Erscheinungen, welche durch Spitzen vermittelt werden, modificiren sich, je nachdem sie mit positiv oder negativ elektrisirten Leitern in unmittelbarer Verbindung, oder mit der Erdbahn in ableitender Verbindung stehend positiv oder negativ elektrisirten Leitern gegenüber sich befinden; doch zeigen sie in diesen verschiedenen Fällen das Gemeinschaftliche eines Uebergangs oder einer Mittheilung der Elektricität auf viel gröfsere Entfernungen, als von abgerundeten oder gar ebenen Flächen aus, und ohne Funken und merkliches Geräusch gleichsam mehr in der Stille, als es bei dem Uebergange und der Mittheilung von abgerundeten oder ebenen Flächen durch Funken der Fall ist.

Wenn ein durch fortwährendes Umdrehen einer kräftigen Elektrisirmaschine fortwährend mit Elektricität geladener kugelförmiger oder cylindrischer, in Halbkugeln sich endigender Leiter fortwährend auf die Auffangkugel des Funkenziehers Funken überschlägt, die nach der Stärke der Maschine mehr oder weniger lang sind und mehr oder weniger schnell auf einander folgen, so hört dieses Funkenschlagen augenblicklich

---

1 New Experiments and Observations on Electricity. By Mr. BENJ. FRANKLIN. Lond. 1769. 4. p. 5.

2 FRANKLIN's Briefe. Uebers. von WILKE. 2ter Brief an Collinson vom 1. Sept. 1747. S. 14.

3 S. *Blitzableiter*. Bd. I. S. 1035. 1044.

Digitized by Google

auf, wenn man in ein im Conductor befindliches Loch eine Stange hineinsteckt, die sich in eine Spitze endigt, mit welcher diese Stange über die Oberfläche des Leiters hervorragt. Wenn bei gröfserer Annäherung des Funkenziehers von neuem Funken überschlagen, so werden diese wieder aufhören, wenn man in hinlänglicher Entfernung von der ersten Spitze, also z. B. durch ein seitwärts in dem Conductor befindliches Loch, eine zweite gleichfalls zugespitzte Stange hineinsteckt, die mit ihrer Spitze über die Oberfläche hervorragt. Bringt man auf diese Weise mehrere Spitzen, jedoch in hinlänglicher Entfernung von einander an, so wird man endlich es so weit bringen, dafs auch bei der schnellsten Umdrehung die Elektrisirmaschine selbst in der kleinsten Entfernung des Funkenziehers keine Funken weiter mehr überschlägt. Es scheint also offenbar, als wenn sich die Elektricität, die fortwährend in den ersten Leiter übergeht, stets durch die Spitzen auf eine ganz unmerkliche Weise wieder verliere, da man wenigstens bei hellem Tage, und wenn die Spitze sehr fein ist, nichts Auffallendes an derselben bemerkt. Je feiner die Spitzen sind und je mehr sie über die Oberfläche des Leiters hervorragen, um so gröfser ist der durch sie bewirkte Verlust der Elektricität. Sind die Spitzen innerhalb der Höhlung oder ragen sie wenigstens nicht über den obern Rand desselben hervor, so bleibt die angezeigte Wirkung ganz aus. Wenn nun gleich mehrere Spitzen mit dem Conductor in Verbindung gebracht eine gröfsere Wirkung hervorbringen, so ist doch die unumgängliche Bedingung dazu, dafs sie in hinlänglicher Entfernung sich von einander befinden, denn zwei oder mehrere Spitzen ganz nahe neben einander in paralleler Richtung aufgestellt bringen vielmehr eine geringere Wirkung als eine einzige Spitze hervor. Schon Beccaria[1] hatte etwas Aehnliches bemerkt, indem er fand, dafs zwei gleich scharfe Spitzen einem elektrisirten Leiter genähert erst in der Hälfte derjenigen Entfernung leuchten, in welcher eine allein schon zu leuchten anfängt, und Brisson führt den Versuch, dafs ein Conductor einer Elektrisirmaschine dann aufhört, gegen einen Knopf Funken zu schlagen, wenn man *eine* leitende Spitze dagegen bringt, wieder von neuem Funken gebe, wenn man eine zweite Spitze

1 Dell' Elettricismo artificiale. p. 67.

Digitized by Google

hinzubringe, als einen Beweis an, wie unerklärlich die Wirkung der Spitzen sey.

Die Spitzen üben eine ganz gleiche Wirkung auf diese Art der Zerstreuung der Elektricität aus, ob sie nun mit dem positiven oder negativen Conductor der Elektrisirmaschine verbunden werden, insofern man nämlich letzteren zur Erregung negativ-elektrischer Erscheinungen gebraucht. Bringt man, während durch Undrehung der Elektrisirmaschine vom ersten Leiter aus beständige Funken auf die auffangende Kugel überschlagen, die Spitze einer Nadel etwa doppelt soweit von dem Conductor, als die auffangende Kugel absteht, so hören diese Funken sogleich auf, und wenn sie bei gröfserer Annäherung der Auffangkugel wieder zum Vorschein kommen, so hören sie von neuem auf, wenn man die Spitze näher bringt oder wenn man in gehöriger Entfernung von der erstern im gleichen Abstande, wie diese, eine zweite und dritte Nadel gegenüberhält. Durch Annäherung dieser Spitzen und Vermehrung derselben, doch immer nur unter der Bedingung, dafs sie einander nicht zu nahe stehn, kann man dem Conductor alle Elektricität auf eine scheinbar unmerkliche Art so vollkommen entziehn, dafs auch nicht der kleinste Funken auf die Auffangkugel überschlägt. Dieses gilt auf gleiche Weise, ob man die Spitzen dem positiven oder negativen Conductor der Elektrisirmaschine gegenüberbringt.

Eine Leidner Flasche, die beim gewöhnlichen Verfahren durch Ausladen mit einem in eine Kugel sich endigenden Entlader mit einem heftigen Knalle und Funken sich entladen und unter derselben Erscheinung einen heftigen Schlag beibringen würde, wenn man sie durch Annäherung eines Fingers entladen hätte, wird ohne merkliche Wirkung entladen, wenn man den in eine feine Spitze sich endigenden Entlader dem Knopfe allmälig nähert oder wenn man die eine Hand an die äufsere Belegung hält und mit der andern die Spitze einer Nadel allmälig gegen den Knopf der Flasche führt.

Eine auseinandergezogene Flocke Baumwolle, an einem leinenen Faden von 5 bis 6 Zoll Länge an den Conductor gehangen, schwellt beim Drehen der Maschine auf, strebt gegen den genäherten Finger oder gegen andere nahe abgerundete, mit der Erde verbundene Leiter. Nähert man ihr aber eine Nadelspitze, so schrumpft sie sogleich zusammen und wird

vom Conductor der Maschine angezogen. Eine mit Goldblättchen belegte aufgeblasene und elektrisirte Blase, die an einem seidenen Faden hängt, wird vom Knopfe einer Metallstange angezogen und durch einen Funken entladen, von einer Nadelspitze aber stillschweigend und ohne Funken. Auch die Versuche, welche man früher in England zur Vertheidigung der spitzigen Blitzableiter[1] angestellt hat, bestätigten diesen mehr unmerklichen Uebergang der Elektricität in spitze Leiter. Doch erhellte aus den Gegenversuchen Wilson's, dafs allerdings auch auf Spitzen Funken überschlagen können, und wir haben oben[2] sogar die Gröfse der Entfernung, aus welcher von elektrisirten Conductoren Funken auf feine Spitzen überschlagen, als einen Mafsstab für die Stärke der Elektrisirmaschinen gebraucht. Auch in den Fällen, wo zwar eine grofse Quantität von Elektricität, aber mit sehr geringer Spannung thätig ist, wie bei den Volta'schen Säulen, erhält man einen sichtbaren Funken nur vermittelst der Spitzen, z. B. durch Annäherung von Drähten, und bei den elektrischen Lampen, wo gleichfalls Elektricität von schwächerer Spannung in Thätigkeit gesetzt wird, ist die Zuspitzung der einander gegenüberstehenden Drähte eine wesentliche Bedingung, um den Uebergang der Elektricität zu bewirken, die als ein kleiner Funken sichtbar wird. Ueberhaupt ist diese Vermittelung des Ueberganges der Elektricität durch Spitzen nur eine scheinbar ganz unmerkliche und stillschweigende, denn im Dunkeln offenbart sie sich in allen Fällen, wenn auch, wie gewöhnlich, keine Funken überschlagen, durch eigenthümliche Lichterscheinungen und auch für das Gehör ist dieser Uebergang durch ein eigenthümliches *Zischen* vernehmbar und aufserdem durch ein Blasen von den Spitzen aus, welches leichte Körperchen in Bewegung setzen kann. Jene eigenthümlichen Lichterscheinungen sind es eben, in welchen sich die Spitzen auf eine so charakteristisch verschiedene Weise verhalten, je nachdem sie mit einem elektrisirten positiven oder negativen Conductor in Verbindung oder mit dem Erdboden verbunden einem solchen gegenüber stehn. Wir haben dieses eigenthümliche Verhalten bereits oben[3] abgehandelt und beziehn uns hier darauf.

---

1 S. *Blitzableiter.* Bd. I. S. 1041.
2 S. *Elektrisirmaschine.* Bd. III. S. 457.
3 S. *Elektricität.* Bd. III. S. 252.

Digitized by Google

In diesen Erscheinungen, vorzüglich der oft so weit ausgebreiteten schönen *Feuerpinsel* an denjenigen Spitzen, welche mit einem positiv elektrisirten Leiter in Verbindung stehn, findet auch eine Annäherung der stumpfen Körper an die eigentlichen Spitzen statt. Kugeln von kleinerem Durchmesser, besonders an den Enden dünner cylindrischer Stangen, durch welche sie mit den gröfsern cylindrischen oder kugelförmigen Conductoren starker Elektrisirmaschinen in Verbindung stehn, zeigen diese Feuerpinsel sogar noch in einer gröfsern Ausbreitung, als die feinern Spitzen, und bei den stärksten Elektrisirmaschinen können diese Kugeln sogar einen Durchmesser von einigen Zollen haben. Je feiner die Spitzen sind, um so unmerklicher wird die Ausströmung, um so weniger ausgebreitet ist der Feuerpinsel, um so leiser das Zischen; je stumpfer die Spitze ist, und wenn sie sich zur Kugel von gröfserem Durchmesser abrundet, um so mehr breitet sich der Feuerpinsel aus, strahlt schon geschlängelte Funken aus, und um so stärker ist das Zischen.

Die hier entwickelte Eigenschaft der Spitzen, die Mittheilung der Elektricität ungemein zu erleichtern, benutzt man überall, wo es auf fortdauerndes Einsammeln oder Zerstreuen der Elektricität ankommt, insbesondere am Collector der Elektrisirmaschine und in frühern Zeiten an den Auffangsstangen der Blitzableiter, die man mit vergoldeten Spitzen versah. Man vermeidet dagegen die Spitzen sorgfältig, wo die Absicht auf Zusammenhaltung bereits gesammelter Elektricität oder auf das Perpetuelle gerichtet ist, wie am Körper des Conductors der Elektrisirmaschinen, an den Belegungen und Zuleitern der Leidner Flaschen und Batterieen, am Elektrophor, Condensator u. s. w.

II. Theorie.

Die Erklärung dieser Eigenschaft oder uneigentlich sogenannten *Kraft* der Spitzen (*pouvoir des pointes*) hat die Naturforscher sehr beschäftigt.

Ellicot, der nur das einzige Phänomen kannte, dafs die Elektricität aus einer Spitze am Leiter merklicher ausströme, als aus den übrigen Theilen, gab als Ursache an, die Ausflüsse liefen längst der Fläche des Leiters hin und müfsten also an der Spitze, wo sie von allen Seiten her näher zusam-

Digitized by Google

menkämen, concentrirter seyn, als an andern Stellen. Dieses erklärt aber im Geringsten nicht, warum die ganze Elektricität des Leiters durch die Spitze zerstreut wird, sowie die ganze Voraussetzung, auf welche sich die Erklärung gründet, durch nichts weiter bewiesen ist.

Nollet[1] nahm seine Theorie der gleichzeitigen Zu- und Ausflüsse zu Hülfe. Bewegte Körper, sagte er, gehn dahin, wo sie den wenigsten Widerstand finden. Die Ausflüsse haben einen doppelten Widerstand zu überwinden, den der Luft und den der Zuflüsse. Die Spitze hat wenig oder gar keine Poren für die Zuflüsse, diese wenden sich daher gegen andere Stellen und lassen den Weg für die Ausflüsse frei. Mithin nimmt die ausströmende Materie gröfstentheils diesen freien Weg und es gehn weniger Ausflüsse nach den übrigen Poren zu. Dieses ist so hypothetisch, dafs es selbst Brisson, bei aller Anhänglichkeit an Nollet, unzureichend findet.

Beccaria[2] erklärt den Einflufs der Spitzen umständlich aus dem Satze, dafs sich die elektrische Materie desto lebhafter bewege, je weniger Raum ihr verstattet sey. Daher werde an der Spitze, wo der Raum sich verengere, die Bewegung und die Intensität der elektrischen Erscheinungen stärker. Man sieht aber leicht ein, dafs diese Erklärung eigentlich weiter nichts als eine Umschreibung der Erscheinung selbst ist.

Benj. Franklin[3] nimmt seinem Systeme gemäfs zur Erklärung der Erscheinung der Spitzen die Anziehung der Körper gegen die elektrische Materie zu Hülfe. Diese, sagte er, ist desto stärker, je gröfser die Oberfläche ist, welche einem Theile der elektr. Atmosphäre zur Basis dient. Bei einer Spitze ist diese Basis in allen Fällen sehr klein und der Körper, der elektrische Materie zu verlieren hat, wirkt hier durch seine Anziehung nur wenig entgegen, sowie etwa die Kraft, die eine Hand voll Haare auf einmal auszuziehn zu schwach wäre, ebendieselben Haar für Haar leicht ausreifst. Franklin ge-

---

1 Lettres sur l'Électricité. T. I. Lett. 6. p. 129.

2 Dell' Elettricismo artificiale. Bologna 1758. 4. p. 50.

3 Briefe von der Elektr., übers. von Wilke. S. 81. und Experiments and Observations. p. 61. Priestley Geschichte der Elektr. S. 309. u. 313.

Digitized by Google

steht indessen selbst, dafs ihm diese Erklärung nicht Genüge leiste, und in der That ist der Hauptgedanke, als wenn der Körper selbst (der Conductor) an seiner Oberfläche eine Anziehung zur elektrischen Atmosphäre äufserte (die auch in diesem Zusammenhange unpassend so bezeichnet wird, weil dadurch die irrige Vorstellung entsteht, als wenn die Elektricität in Form eines Dunstkreises den Leiter umgebe), ganz falsch. Bei dem zur Erläuterung angeführten Beispiele schwebte Franklin ohne Zweifel jene Geschichte des Sertorius vor, der, um seinen Soldaten zu zeigen, wie viel kräftiger die Ausdauer als die Hitze sey, ein abgezehrtes Pferd vorführen liefs, dem seine stärksten Soldaten durch die gewaltsamste Anstrengung den Schwanz nicht auf einmal ausreifsen konnten, während der abgelebteste unter seinen Kriegern mit dem Schwanze des stärksten Pferdes zu Stande kam, da er es Haar für Haar auszog. So wirkten die Spitzen gleichsam durch eine kleine Kraft, welche durch wiederholte Actionen das zu Stande bringt, wozu eine starke Gewalt durch eine einzige Action, die auf die Totalität der Wirkung gerichtet ist, nicht genügt.

Cavallo, sonst ein Anhänger der Franklin'schen Theorie, konnte allerdings obige Erklärung nicht genügend finden. Er nahm daher die umgebende Luft zu Hülfe, welche stets mit leitenden Theilen erfüllt ist. Eine Fläche von bestimmter Gröfse, so äufsert sich Cavallo, und darin stimmten ihm mehrere andere Physiker bei, verliert ihre Elektricität um so schneller, je mehr Luft sie berührt. Nun ist die Spitze einer Nadel fast gänzlich mit Luft umringt, dagegen ein gleich grofser Fleck auf der Oberfläche eines Leiters weit weniger von Luft berührt wird. Auch erneuert sich die Luft an der Oberfläche der Spitze viel öfter und es gehn von Zeit zu Zeit neue, noch unelektrisirte Theilchen vorbei. Daher mufs sich die mitgetheilte Elektricität durch die Spitzen leichter als durch andere Theile der Leiter zerstreuen, auch müssen negative Spitzen die Elektricität am leichtesten annehmen, weil sie mit der kleinsten Fläche die gröfste Menge Lufttheilchen berühren, aus denen sie einsaugen können. Sofern in dieser Erklärung keine Rücksicht auf die gröfsere Verdichtung der El. in der Spitze Rücksicht genommen, sondern blofs ein gleiches Streben der Mittheilung an die Luft, wie auf andern Puncten des

Leiters, vorausgesetzt wird, ist die angegebene Ursache einer häufigern Berührung auf keine Weise für zureichend zu halten.

Auch ein gewisser Chappe[1] hat eine Erklärung der merkwürdigen Eigenschaft der Spitzen versucht, die aber theils auf so willkürlichen Voraussetzungen beruht, theils so verworren ist, dafs sie hier keine nähere Auseinandersetzung verdient.

Gehler suchte das Phänomen der Spitzen dadurch zu erklären, dafs die Wirkungskreise der Spitzen unendlich freier, als bei glatten Flächen, und fast gar keinem Widerstande ausgesetzt seyen, und läfst sich zur weitern Begründung dieser Ansicht in eine ausführlichere Erörterung ein, in welcher zwar ganz richtig das verschiedene Verhältnifs der in der Spitze befindlichen Elektricität gegen die Repulsionskraft der auf den übrigen Leitern verbreiteten Elektricität, als ebenderselben, wenn sie auf einem Puncte einer abgerundeten oder vollends einer ebenen Fläche sich befindet, und der verschiedenen Folge davon für die Austreibung der Elektricität in beiden Fällen gewürdigt ist, jedoch wird der Hauptumstand, auf welchen hierbei alles ankommt, nicht genau genug angegeben. Dieser Hauptumstand ist erst durch Coulomb's sorgfältige experimentale Untersuchungen über die Art, wie die Elektricität auf Leitern von verschiedener Gestalt vertheilt ist, und über den verschiedenen Grad der Dichtigkeit oder Dicke der elektrischen Schichten an verschiedenen Stellen derselben ins Klare gesetzt worden und die Erklärung hiervon erst möglich geworden, nachdem durch ebendesselben Physikers Forschungen das Gesetz der Abnahme der zurückstofsenden und anziehenden Thätigkeit der Elektricität nach dem Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen als sicheres Resultat gewonnen war und La Place und Poisson mit mathematischer Schärfe alle Folgerungen daraus entwickelt hatten.

Alle Erscheinungen, betreffend die Art der Verbreitung der freien Elektricität auf Leitern[2], deuten darauf hin, dafs die El., sofern wir eine eigene höchst feine Flüssigkeit als

---

1 Journal de Physique. Tome XL. p. 329. Uebers. in Gren's neuem Journal der Physik. Bd. I. S. 115.

2 S. *Elektricität.* Bd. III. S. 268.

Digitized by Google

Ursache der elektrischen Erscheinungen annehmen, welche Vorstellungsart ohne Zweifel mit den Thatsachen selbst am besten übereinstimmt, an der Oberfläche der Leiter, die von ihr geladen sind, eine höchst dünne Schicht bildet, die auch bei der gröfsten Anhäufung noch weit hinter der Dünne auch des feinsten Goldblättchens zurückbleibt, da jede beliebige Menge derselben ebenso vollkommen ihren Platz auf einer mit einem solchen Blättchen überzogenen Glaskugel, als auf einer soliden Metallkugel findet. Es ist also leicht einzusehn, dafs diese Schicht nicht allemal in allen Theilen der Oberfläche gleich dick seyn werde, sondern diejenige Gestalt und Dicke annehmen müsse, welche nöthig ist, damit irgend ein Punct im Innern nach allen Seiten gleich angezogen werde; denn wenn im Innern des Körpers, wo sich unzersetzte Elektricität (aus der Verbindung beider Materien) ruhend befindet, irgend ein Punct A eine Anziehung für die positive, eine Abstofsung für die negative Materie nach bestimmter Richtung AB litte, so würde etwas mehr positive Materie nach B zu gehn und etwas mehr negative Materie zurücktreten, und dieses würde statt finden, bis die Anziehung gegen die eine und die Abstofsung gegen die andere Materie nach allen Seiten gleich ist, für alle Puncte im Innern des Körpers, weil nur dann erst Ruhe und Gleichgewicht, welcher Zustand hier vorausgesetzt wird, eingetreten seyn könnte. In der Lehre von der Schwere wird durch eine einfache Construction bewiesen, dafs eine Kugelschicht, die aufsen und innen von concentrischen Kugelflächen begrenzt ist, auf einen Punct im Innern der Kugel gar keine Anziehung ausübt, wenn die Kraft der Anziehung umgekehrt dem Quadrate der Entfernung proportional ist, und folglich erfüllt eine solche Schicht positiv oder negativ elektrischer Materie, die eine Kugel concentrisch umgiebt, die Bedingungen des Gleichgewichts, da für die Elektricität jenes Gesetz der Abnahme nach dem Quadrate der Entfernung gleichmäfsig, wie für die Schwere gilt. Auch folgt diese ganz gleichförmige Ausbreitung der Elektricität auf der Oberfläche einer Kugel schon von selbst aus der Natur ihrer Gestalt und aus der Repulsivkraft der Elektricität. Die freie Elektricität, sey sie nun positiv oder negativ, sucht sich nämlich vermöge dieser Repulsivkraft nach allen Seiten auszubreiten, und da die Luft ihr an der Oberfläche Grenzen

Fig. 859.

setzt, so mufs sie sich hier anhäufen. Wegen der überall gleichen Krümmung der Kugel ist aber kein Punct der Oberfläche mehr als der andere fähig, eine stärkere Ladung als der benachbarte anzunehmen. Die Rechnung zeigt, dafs auch für ein Sphäroid ebenso gut das Gleichgewicht der Anziehung auf alle im Innern liegende Puncte statt findet, wenn es mit einer Schicht, die gleichfalls sphäroidisch ist und eben das Verhältnifs der Axen hat, umgeben ist, dafs also z. B. ein Sphäroid KM, welches zehnmal so lang als dick ist, eine zehnmal so dicke oder dichte Schicht elektrischer Materie bei M als bei L haben mufs. Auf dieselbe Weise läfst sich auch durch Hülfe der höhern Analysis die Art der Vertheilung der freien Elektricität auf Leitern von cylindrischer Form, auf flachen Stäben, kreisförmigen Scheiben u. s. w. bestimmen. Mit diesen theoretischen Bestimmungen kommen nun die sorgfältig angestellten experimentalen Untersuchungen Coulomb's vollkommen überein, welche wir hier als am schicklichsten Orte nachholen, da sie den eigentlichen Schlüssel zur Erklärung des Phänomens der Spitzen geben. Hierzu bediente sich derselbe eines kleinen Scheibchens von Goldpapier als *Prüfungsscheibchens* für die absolute Menge der Elektricität, die sich auf jedem Elemente der Oberfläche des Leiters angehäuft findet. Man berührt irgend einen Punct der Oberfläche des Leiters tangential damit und zieht es perpendiculär davon ab, wo es dann mit der halben Dicke der Schicht, die sich auf diesem Elemente befand, geladen seyn mufs. In der Berührung selbst mufste die Dicke derselben die gleiche seyn, wie sie dem Elemente, dessen Stelle dasselbe gleichsam vertritt, zukommt, aber nach dem Abziehn, wo es denselben Dienst leistet, wie wenn man von der Oberfläche selbst ein Element von gleicher Dicke und Ausdehnung abgeschnitten hätte, um weitere Versuche damit anzustellen, verbreitet sich die Elektricität auf der doppelten Oberfläche und ihre Dicke wird die Hälfte, wodurch indefs in dem Verhältnisse der Dicken verschiedener Elemente nichts verändert wird. Das so mit Elektricität beladene Scheibchen wird in die Drehwaage[1] gebracht. In dieser theilt es seine Elektricität dem beweglichen Scheibchen mit und man untersucht die Kraft der Drehung

Fig. 860.

1 Vergl. *Drehwaage*. Bd. II. S. 590.

Digitized by Google

bei einer gewissen Entfernung. Auf dieselbe Weise probirt man ein anderes Element. Das Verhältnifs der Drehkräfte ist das Verhältnifs der Repulsionen und man nimmt die Quadratwurzeln, um das Verhältnifs der Dicken der Schichten zu haben. Durch solche Versuche läfst sich auch beweisen, dafs die absoluten Quantitäten Elektricität, welche das Prüfungsscheibchen successiv an einem und demselben Puncte der Oberfläche des Leiters aufnimmt, stets der im Augenblicke der Berührung auf der Oberfläche dieses Körpers verbreiteten Totalsumme von Elektricität proportional sind und dafs, wie grofs oder wie klein auch diese Summe seyn mag, die im nämlichen Augenblicke auf verschiedenen Elementen der Oberfläche aufgenommenen Quantitäten stets unter einander ein unveränderliches Verhältnifs behaupten, woraus dann folgt, dafs, wenn in irgend einem Leiter eine doppelte, dreifache oder irgend vielfache Quantität Elektricität angehäuft wird, jedes Element der Oberfläche eine doppelte, dreifache oder überhaupt in demselben Verhältnisse vielfache Quantität von der, die es vorher besafs, aufnimmt.

Da die Beobachtungen mit solchen Prüfungsscheibchen immer eine öftere Wiederholung verlangen, so mufs man bei Vergleichung derselben den durch die Luft verursachten Verlust an Elektricität in Rechnung ziehn. Man kann zu diesem Behufe das von Coulomb selbst durch genaue Versuche ausgemittelte Gesetz dieses Verlustes zum Grunde legen; doch läfst sich diese Correction auch dadurch entbehrlich machen, dafs man die Versuche auf eine Art combinirt, welche ihre Berichtigung selbst mit sich führt. Zu diesem Zwecke berührt man, wenn es sich um Vergleichung der el. Reactionen zweier Elemente a und b handelt, erst a mit dem Prüfungsscheibchen und beobachtet in der Drehwaage die proportionale Reaction, deren es dadurch theilhaftig wird. Darauf berührt man auch das Element b mit dem Prüfungsscheibchen und beobachtet ebenfalls die daraus erfolgende Reaction. Wenn nun zwischen beiden Beobachtungen eine gewisse Zeit, z. B. von drei Minuten, verflossen ist, so wiederholt man die Beobachtung von a drei Minuten nach der zweiten Beobachtung und nimmt das arithmetische Mittel aus diesem Resultate und dem zuerst gefundenen. So wird das Ergebnifs ganz das nämliche, als wenn die Berührung von a und von b ganz in dem nämlichen

Zeitpuncte vorgenommen worden wäre. Diese Methode wandte z. B. Coulomb in der nachfolgenden Bestimmung an, welche Biot aus dessen hinterlassenen Papieren entlehnt hat[1]. Coulomb hatte sich die Untersuchung vorgesetzt, wie sich die Elektricität auf einem dünnen und isolirten Streifen vertheilt. Zu diesem Zwecke isolirte er einen Stahlstreifen von 11 Zoll Länge, 1 Zoll Breite und $\frac{1}{2}$ Linie Dicke. Um ihn in seiner ganzen Breite berühren zu können, gab er der Prüfungsfläche 1 Zoll Länge auf 3 Linien Breite, legte sie erst auf die Mitte des Streifens auf, dann in 1 Zoll Weite von seinem Ende und erhielt so folgende Resultate.

	Beobachtete Drehungen.	Mittel aus den Drehungen bei Berührung der Mitte.	Mittel aus den Drehungen bei Berührung 1 Zoll vom Ende.	Verhältder mittlern Drehungen.
Berührung in der Mitte	370°			
— 1 Zoll vom Ende	440°	360	440	1,22
— in der Mitte	350	350	417	1,20
— 1 Zoll vom Ende	395	335	395	1,18
— in der Mitte	320			—
		Mittel		1,20

d. h. nimmt man auf der Mitte des Streifens und 1 Zoll von seinem Ende in der ganzen Breite desselben gleiche Räume, so verhalten sich die auf denselben vorhandenen Quantitäten der Elektricität oder die Dicken der elektrischen Schichten zu einander, wie 1 zu 1,2, sind mithin einander beinahe gleich. Coulomb wiederholte nun den Versuch so, dafs er die Prüfungsscheibe ganz und gar an das Ende des Streifens legte, ohne sie jedoch über seine Oberfläche hinausragen zu lassen, und erhielt dann bei einem ganz gleichen Verfahren, wie in der ersten Reihe von Versuchen, das Verhältnifs der Menge der Elektricität in der Mitte zu der am Ende = 1 : 2,02,

1 Lehrbuch der Experimentalphysik, übers. von Fechner. Bd. II. S. 188.

woraus sich ergiebt, dafs die Elektricität bis einen Zoll vom Ende sich an Menge oder die el. Schicht an Dicke ziemlich gleich bleibt, aber dann rasch zunimmt.

Noch eine andere Prüfung stellte Coulomb an, indem er die Papierfläche nicht mehr auf die Oberfläche des Streifens selbst auflegte, sondern in die Verlängerung dieser Oberfläche brachte, so dafs sie mit ihrem Rande die Dicke des Streifens berührte, wo sich das Verhältnifs gegen die Menge der Elektr. in der Mitte = 4:1 ergab, so dafs also die Prüfungsfläche in der Verlängerung der Oberfläche des Streifens an diesen angesetzt gerade das Doppelte von der Quantität Elektr. aufnimmt, die sie an diesem Ende selbst aufnahm, wenn sie blofs *eine einzelne* Oberfläche desselben berührte.

Eine Wiederholung dieses Versuchs mit einem Streifen von der doppelten Länge des vorigen, übrigens aber von denselben Dimensionen, gab ganz die nämlichen Verhältnisse zwischen Mitte und Enden.

Die schnelle Zunahme der Elektricität nach den Enden zu ist den Streifen nicht eigenthümlich, sondern findet überhaupt bei allen sehr in die Länge ausgedehnten prismatischen oder cylindrischen Körpern statt, und zwar in einer um so rascheren Progression, je dünner dieselben sind. Bei einem Cylinder von 2″ Durchmesser und 30″ Länge, der sich in zwei Halbkugeln endigte, verhielten sich die elektr. Intensitäten in der Mitte, zwei Zoll vom Ende, einen Zoll vom Ende und am Ende selbst respectiv wie 1; 1,25; 1,80; 2,30. Verdünnte sich der Cylinder nach den Enden zu, so war der Anwachs hier noch rascher und beträchtlicher. Auf einer runden Scheibe von 10 Zoll Durchmesser verhielten sich die Intensitäten folgendermafsen.

Abstand vom Rande	Intensitäten der hier statt findenden Elektr.
5 Zoll (Mitte d. Scheibe)	— 1
4 — —	— 1,001
3 — —	— 1,005
2 — —	— 1,170
1 — —	— 1,520
½ — —	— 2,070
0 — —	— 2,900

Digitized by Google

Coulomb fand auch, dafs, wenn der Durchmesser der runden Platten eine gewisse Länge überschreitet, das Gesetz der Intensitäten der Elektricität am Rande für alle das nämliche wird.

In dieser verschiedenen Intensität der Elektricität an verschiedenen Stellen der Leiter, die keine einfache *sphärische* Form haben, liegt nun allein der Grund der verschiedenen Schlagweite oder Funkenlänge an verschiedenen Stellen derselben, der Grund des Ausströmens der Elektricität in mehr oder weniger ausgebreiteten Feuerpinseln aus den am Ende cylindrischer Leiter durch mehr oder weniger lange Stiele mit denselben verbundenen Kugeln, vor allem aber der Leichtigkeit, mit welcher die Elektricität aus Spitzen ausströmt. Die Elektricität, die vermöge ihrer Repulsivkraft sich unaufhörlich zu zerstreuen und die Leiter, an deren Oberfläche sie angehäuft ist und, wie schon oben erinnert ist, eine gleichsam unendlich dünne Schicht bildet, immerfort zu verlassen strebt, wird an dieser Oberfläche nur durch den Widerstand der isolirenden Luft zurückgehalten. Man kann sich gleichsam vorstellen, dafs die Luft die Wandungen eines Gefäfses darstellt, die in ihrer Gestalt sich ganz nach der Gestalt der Oberfläche des Leiters richten, gegen welche Luftwandungen die Elektricität fortwährend drückt und überall da durchbricht und sonach Ausströmen oder Uebergang in Funken veranlafst, wo ihre repulsive Kraft und die Anziehungskraft zu ihrem Gegensatze stärker ist, als der Widerstand der Luft, wobei jedoch das Streben nach der entgegengesetzten Elektricität nur von merklichem Einflusse seyn kann, wenn ein mit dem Erdboden in Verbindung stehender Leiter gegenübersteht, weil bei blofser Umgebung von Luft die isolirende Eigenschaft derselben keine Aenderung der Lage der elektrischen Theilchen, keine Anhäufung derselben und damit verstärkte Anziehung gestattet. Der Druck, mit welchem die elektrische Materie vermöge ihrer Repulsivkraft und ihrer Anziehung zu ihrem Gegensatze die Luft zu durchdringen strebt, steht im Verhältnisse des Quadrats der Höhe oder Dicke der elektrischen Schicht auf jedem Elemente. Es ist nämlich die Kraft aller von den verschiedenen Elementen des Leiters her durch ihre repulsive Thätigkeit wirksamen Theilchen die Ursache, warum die Schicht auf einem gegebenen Elemente eine gewisse Dicke

Digitized by Go

oder Höhe annimmt, und die Höhe der Schicht ist der Gröfse der aus jenen gesammten abstofsenden Kräften hervorgehenden Mittelkraft proportional; eine doppelt so dicke Schicht verräth also die Wirkung einer in dem gegebenen Elemente doppelt so mächtigen Kraft jedes einzelnen Theilchens, und da zugleich eine doppelt so hohe Schicht zweimal so viel drückende Theilchen enthält, so übt die Stelle, an welcher sich die doppelt so hohe Schicht befindet, den vierfachen Druck auf die umgebende Luft aus, und so überhaupt im Verhältnisse des Quadrats der Dicke, weil beide Factoren, nämlich Menge der Theilchen und Stärke der Repulsivkraft, in ganz gleichem Verhältnisse mit einander wachsen. Dieses gilt in ganzer Strenge nur bei sehr dünnen Schichten, mit denen wir es hier zu thun haben. Die Anwendung hiervon auf die grofse Kraft, mit welcher die Elektricität vorzugsweise an den Spitzen wirken und somit im Stande seyn mufs, den Druck der Luft zu überwinden und auszuströmen, ergiebt sich von selbst. Wir haben oben gesehn, dafs bei einem Sphäroid an den Enden des Durchschnitts der langen Axe die Dicke der elektrischen Schicht zu derjenigen an dem Umkreise des Durchschnitts der kurzen Axe sich wie die lange zur kurzen Axe verhält. Wir können uns nun vorstellen, dafs unser Sphäroid aus zwei Kegeln zusammengesetzt sey, die an ihren Grundflächen vereinigt sind. Hier mufs die Elektricität sich nothwendig an den Spitzen a und b anhäufen. Wäre z. B. das Verhältnifs von ab zu cd wie 10:1, so würde in a und b die Dicke oder Höhe der Schicht 10mal so grofs seyn als in c und d, der Druck aber, welchen die Elektricität in a und b auf die Luft ausübt, 100mal so grofs wie in c und d. Man begreift nun, wie mit der Verfeinerung der Spitzen und in dem Verhältnisse, in welchem sie über die Oberfläche des Leiters mehr hervorragen, die Leichtigkeit des Ausströmens zunimmt, weil ebendamit gleichsam ein Conus gegeben ist, wo das Verhältnifs der langen Axe zur kurzen ein viel gröfseres ist, ein Verhältnifs von 100, 200 u. s. w. zu 1, womit also eine Zunahme des Drucks der Elektricität am Ende der Spitze um das 10000fache, das 40000fache u. s. w. gegeben ist. Sind zwei Spitzen nahe neben einander, so unterstützen sich ihre repulsiven Kräfte wechselseitig in Beziehung auf die resultirende Kraft aus den elektrischen Schichten

Fig. 361.

aller übrigen Elemente des Leiters und die Elektricität bedarf also keiner so grofsen Dicke, um das Gleichgewicht zu halten, womit dann im quadratischen Verhältnisse der Dicke der Schicht der Druck auf die Luft und die Leichtigkeit des Ausströmens abnimmt.

In Rücksicht auf die Schwierigkeit des Ueberganges der Elektricität zwischen zwei einander genäherten platten ebenen Flächen bemerkt Gehler Folgendes. Die Puncte elektrisirter platter Flächen liegen neben einander, jeder in des andern Wirkungskreise; ihre $\pm$ E. stofsen sich von allen Seiten her gleich stark ab, werden aber von den Puncten einer genäherten parallelen Fläche gleich stark angezogen und dadurch in ein gegenseitiges Gleichgewicht versetzt, welches macht, dafs die Mittheilung zwischen beiden Flächen nicht anders als durch einen völligen Uebergang des ganzen $\pm$ E. aus beiden Flächen auf einmal mit parallelen Bewegungen erfolgen könne. Dabei müfste die Elektricität der einen Fläche in die andere gleichsam in Gestalt einer grofsen cylindrischen oder prismatischen Scheibe nach einer auf ihre Fläche senkrechten Richtung überfahren. Einem solchen Uebergange setzen aber die zwischenliegende Luft und die Anziehung der Flächen selbst gegen ihre Elektricität einen viel zu starken Widerstand entgegen, daher die Mittheilung äufserst schwer wird, hingegen alles, was von Vertheilung und Wirkungskreisen abhängt, desto länger sichtbar bleibt. Diese Erklärung setzt voraus, dafs die Elektricität auf der Oberfläche solcher platter Flächen (Scheiben) ganz gleichförmig verbreitet sey. Dem ist aber nicht so, wie aus Coulomb's oben angeführten Versuchen erhellt. Vielmehr bildet die Elektricität gegen den Rand solcher Scheiben eine dickere Schicht als in der Mitte und diese Dicke der Schicht erreicht am Rande selbst ihr Maximum. Ebendaher kann die Elektricität auch nicht in Gestalt einer solchen cylindrischen Scheibe, wie Gehler voraussetzt, übergehn, sondern sie schlägt zwischen solchen einander genäherten Scheiben stets vom Rande aus in Funken über. Auch wird von Gehler ganz irriger Weise eine wirkliche Anziehung der Flächen selbst gegen die Elektricität als ein Widerstand für den Uebergang angesehn. Die ganze Theorie der Bewegung der Elektricität und der davon abhängigen Art ihrer Vertheilung und Verbreitung auf der Oberfläche der voll-

Digitized by Google

kommnen Leiter, so wie ihrer Mittheilung und ihres Ueberganges beruht wesentlich darauf, dafs man eine repulsive Thätigkeit der gleichartigen elektrischen Theile unter einander und Anziehung der ungleichartigen elektrischen Theile gegen einander annimmt, womit dann auch die Erfahrung sehr wohl übereinstimmt. Nur an den Flächen der Nichtleiter (Harz, Siegellack, Glas u. s. w.) kann man eine Art von Adhäsion der Elektricität annehmen. Uebrigens erklärt sich die gröfsere Schwierigkeit des Ueberganges zwischen ebenen Flächen und die davon abhängige kürzere Schlagweite genügend aus der einander gleichsam balancirenden, auf den gleichen Effect gerichteten Thätigkeit der in gleicher Richtung gelegenen Elemente der ebenen Flächen und des Eingeschlossenseyns der Luft zwischen denselben, welcher kein freier Ausweg gestattet ist, da gerade der stärkste Druck gegen dieselbe vom Rande der Flächen aus statt findet.

Elektrisches Flugrad.

In der genauesten Verbindung mit den Phänomenen der Spitzen steht das sogenannte elektrische Flugrad, und wir holen daher hier dasjenige nach, was in den früheren Ausgaben dieser Wörterbücher einen eigenen Artikel: Rad, elektrisches; *Peritrochium electricum;* Roue ou Moulinet électrique; *Electric wheel*, bildete.

Das elektrische Flugrad (*Fly*) oder *elektrische Kreuz* wird durch die 4 dünnen Messingdrähte a, b, c, d gebildet, die kreuzförmig mit einem in der Mitte befindlichen glatt ausgehöhlten Messinghütchen D vereinigt sind, durch welches sie auf dem fein zugespitzten Stifte k im Gleichgewichte mit einander ruhn und höchst beweglich sind. Die Enden der Drähte sind spitz und nach einer Seite rechtwinklig umgebogen. Man schneidet auf dem unteren Theile des Stiftes eine Schraube, um denselben senkrecht auf den Conductor, in welchen eine entsprechende Mutterschraube eingebohrt ist, aufzuschrauben. Sobald der Conductor elektrisirt wird, fängt das Kreuz an umzulaufen und dreht sich in der horizontalen Ebene der Richtung der umgebogenen Drahtspitzen entgegengesetzt. Dieses erfolgt mit grofser Geschwindigkeit und gleichmäfsig nach der nämlichen Richtung, der Conductor werde positiv oder negativ elektrisirt. Bei hinlänglich starker Elek- Fig. 362.

tricität kann man selbst ein ganzes System von solchen Kreuzen in Bewegung setzen, indem auf einem mittlern zugespitzten Stiele ein gröfseres Kreuz schwebt und zugleich von diesem Stiele 4 Arme einander rechtwinklig durchkreuzend in waagerechter Richtung ausgehn, an deren Enden sich senkrechte zugespitzte Stifte befinden, auf denen gleichfalls solche Kreuze, wie auf dem Hauptstifte, ruhn. Im Dunkeln sieht man aus allen Spitzen bei positiver Elektrisirung Pinsel von elektrischem Lichte ausströmen, bei negativer Elektrisirung zeigt sich an den Spitzen nur ein leuchtender Punct. Bei hinlänglich rascher Bewegung des Flugrades vereinigt sich die Lichterscheinung am Ende der Spitzen zu einem leuchtenden Kreise. Verschiedene Physiker haben mancherlei Abänderungen mit diesem Versuche vorgenommen, um die Ursache der Erscheinung mehr aufzuklären. Ich theile hier eine Reihe von Versuchen mit, die in derselben Absicht von Muncke veranlafst und von Lachmann, damals in Heidelberg studirend, jetzt Lehrer der Mathematik in Constanz, unter des Erstern Anleitung ausgeführt wurden. Der dazu gebrauchte Apparat
Fig. 363. bestand aus einer stählernen Spindel 2″ 2‴ Par. Mafs (gleichsam der Hälfte unsers oben beschriebenen Kreuzes) lang, in a mit einer feinen, wohl auspolirten Vertiefung versehn, in
Fig. 364. welcher dieselbe auf der feinen Spitze b balancirt wird, die in einen Stiel ausläuft, der durch die untere Federung in den
Fig. 365. Hals des Medicinglases festgeklemmt ist. Die Medicingläser, welche zu diesen Versuchen gebraucht wurden, waren alle von schönem weifsen, sehr dünnen Glase und im Durchschnitte 4″ 10‴ hoch. Zwischen die Wandung im Halse des Glases und den darin festsitzenden untern Theil des Stiftes wurde noch ein Streifen Stanniol eingeschoben, der noch etwas über den untern Rand des Glases hervorragte, um die Spitze mit dem Conductor auf welchen der Apparat gesetzt wurde, in vollkommen leitende Verbindung zu bringen. Die Spindel selbst (der kleine Hebel) endigt sich in Spitzen, die in entgegengesetzter Richtung umgebogen sind.

1) Der Apparat wurde, wie er in der Zeichnung dargestellt ist, auf den Conductor gesetzt, durch den unten im Halse des Glases befestigten Stanniolstreifen die Verbindung des Conductors mit der Spindel erzeugt und so dieser die Elektricität zugeleitet. Die Spindel drehte sich anfangs rasch um, dann aber immer

Digitized by Google

träger, kam aber nach 4 bis 5 Minuten zum gänzlichen Stillstande und drehte sich auch nicht wieder, obgleich man starke Elektricität derselben zuführte oder auch einige Zeit ganz abliefs, sie zu elektrisiren, und sie dann wieder von neuem elektrisirte. Führte man aber dann, wenn sie still stand, ihr noch Elektricität zu und berührte man mit einem Leiter, etwa dem Knöchel des Fingers, das Glas von aufsen oder näherte man auch nur ein Licht, so drehte sie sich augenblicklich sehr schnell um und fuhr unter fortwährender Ableitung von aufsen stets fort, sich gleich stark zu drehn. Es wurde bei fortwährendem Elektrisiren 10 Minuten lang mit der Hand abgeleitet und die Spindel drehte sich ununterbrochen sehr stark um, die Elektricität sammelte sich dabei im Glase so stark an, dafs aus dem Halse desselben an die oben am Glase befindliche Hand 3 bis 4″ lange sehr stechende Funken sprangen. Die so fortdauernd elektrisirte Spindel leuchtete an ihren Spitzen im Dunkeln, im Augenblicke aber, als die Funken unten hervorsprangen, hörte sie auf zu leuchten, fing aber sogleich wieder an zu leuchten, als die Funken übergesprungen waren. Ward das Glas, als die Spindel still stand, an einem hölzernen mit Papier umwickelten Stabe, auf welchen sich der Stift der Spindel stützte, abgehoben und mit der Hand das Stanniolblättchen berührt, so drehte sich die Spindel wieder um, jedoch stärker, wenn man zugleich mit einem Finger das Glas berührte.

2) Ein Medicinglas, auf der Seite mit einer Oeffnung von 5‴ im Durchmesser, zeigte unter denselben Bedingungen ganz dieselben Erscheinungen, in einem Medicinglase hingegen mit einer solchen Seitenöffnung von 11‴ drehte sich die Spindel beständig um auch ohne äufsere Ableitung. Ebenso verhielt sich die Spindel unter einem offenen Glascylinder, unter einem oben mit einer Blase verschlossenen Glascylinder und unter einer Glasglocke, welche gut isolirte. Dagegen unter einer Glocke von Glas, welches sich als ein ziemlich guter Leiter der Elektricität verhielt[1], drehte sich die Spindel weder ohne Ableitung noch mit Ableitung um, ja wie man sie durch sehr starke Ableitung zur Bewe-

---

1 Vergl. *Leiter*. Bd. VI. S. 186.

gung zwingen wollte, drehte sie sich nach entgegengesetzter Richtung um, jedoch nicht sehr schnell.

3) Ebenso drehte die Spindel sich nicht um unter einem messingnen Ringe 5″ hoch und 4″ 2‴ im Durchmesser, welcher oben mit einer Glasplatte geschlossen war, und durch Ableitung gezwungen drehte sie sich gleichfalls nach entgegengesetzter Richtung; gab man dem Ringe nur einige leitende Berührungspuncte mit dem Conductor, etwa durch untergelegte Metallstückchen, so drehte sich die Spindel ebenso wenig, wurde aber der Ring durch eine Glasplatte, welche in ihrer Mitte eine Oeffnung hatte, durch welche der Stift ging, isolirt, so drehte sich die Spindel ohne Aufhören. War der Ring nicht mit einer Glasplatte bedeckt und unten mit dem Conductor in Berührung, so lief die Spindel mäfsig stark um, merklich stärker, wenn die isolirende Glasplatte darunter lag, und sehr stark, wenn man ihn im letzteren Falle mit einem Leiter berührte.

4) Es wurden Medicingläser, wie das oben beschriebene, das eine aufsen, das andere innen, und ein drittes aufsen und innen zugleich mit einem 4 Linien breiten Stanniolstreifen am Bauche des Glases so belegt, dafs die Ebene, in welcher sich die Spindel drehen sollte, den Streifen gerade in der Mitte durchschnitt. In dem ersten Glase drehte sich die elektrisirte Spindel anfänglich um, dann aber immer langsamer, bis sie endlich ganz still stand. Leitete man hernach mit der Hand ab, so drehte sie sich wieder schnell um, hob man den Apparat vom Conductor ab und berührte unten den Stanniolstreifen, so drehte sie sich nicht; berührte man aber den Stanniolstreifen und mit einem Finger das Glas, so drehte sie sich um, noch stärker aber, wenn man den Stanniolstreifen und zugleich die Stanniolbelegung des Glases berührte. In dem zweiten Glase, das innen den Stanniolstreifen hatte, drehte sich die Spindel ohne von aufsen angebrachte Ableitung gar nicht. Das Verhalten der Spindel in dem dritten Glase stimmte in der Hauptsache mit dem im erstern überein.

5) Es wurden nun mehrere Gläser mit Dämpfen angefüllt und es ergab sich dabei, dafs in Aether- und Weingeistdämpfen die Spindel sich nicht drehte, weder mit noch ohne äufsere Ableitung, aber in etwas in dem mit Wasserdämpfen angefüllten Raume bei äufserer Ableitung.

Digitized by Google

6) Wurde in einem Medicinglase die innere Luft von der äufsern durch Quecksilber abgeschlossen und mittelst des Quecksilbers der Spindel Elektricität zugeführt, so drehte sie sich um, stürzte man aber über diesen Apparat noch eine Glasglocke und leitete unten durch die Glasglocke dem Quecksilber Elektricität zu, so blieb die Spindel ganz unbeweglich, auch wenn die Glasglocke ableitend berührt wurde.

7) In einer so viel als möglich vollkommenen torricelli'schen Leere, die dadurch hervorgebracht wurde, dafs das Quecksilber in dem damit gefüllten Medicinglase ausgekocht, mit aller Vorsicht, so dafs keine Luftblase in die Höhe steigen konnte, in ein gleichfalls ausgekochtes Quecksilber enthaltendes Gefäfs umgestürzt und unter die Glocke der Luftpumpe gebracht wurde, wo dann mit dem Herabsinken des Quecksilbers in Folge des Auspumpens die stählerne Spindel sich auf ihre Spitze herabsenkte, blieb die Spindel, als derselben durch den metallenen Teller der Luftpumpe Elektricität zugeführt wurde, gänzlich unbeweglich, auch wenn durch Anhalten der Hand an die Glocke eine Ableitung geschah, in welchem Falle aber das torricelli'sche Vacuum von einem schön nordlichtartig leuchtenden Scheine ganz erfüllt war und die ableitende Hand sehr empfindliche Funken erhielt.

8) Es wurde das Medicinglas mit der Spindel auf den Teller der Luftpumpe gesetzt, eine oben offene, aber mit einer messingnen Platte bedeckte und mit einem bis auf das Medicinglas herabgehenden Drahte versehene Glocke darüber gestürzt und der Spindel Elektricität zugeführt. Diese drehte sich ziemlich rasch um; als aber die Luft aus der Glocke und also auch aus dem Medicinglase ausgepumpt war und die Barometerprobe nur noch auf 0″,5 stand, blieb die Spindel unbeweglich, als sie nun abermals elektrisirt wurde.

Die hier absichtlich etwas ausführlich mitgetheilten Versuche, da man den Werth derselben nur bei genauer Kenntnifs der Art, wie sie angestellt wurden, richtig beurtheilen kann, bestätigen theils die von andern Physikern früher angestellten, theils liefern sie auch einige neue Thatsachen, welche für die Erklärung des Phänomens des Flugrades nicht unwichtig sind, bieten aber auch noch einige Schwierigkeiten für die Erklärung dar.

Der erste, gleichsam der Fundamentalversuch für die Theo-

rie, lehrt, dafs in einem eingeschlossenen mit einem Isolator umgebenen Luftraume die Spindel sehr bald zum Stillstande kommt. Der Grund liegt offenbar darin, dafs die Luft selbst in kurzer Zeit mit der gleichartigen Elektricität gesättigt ist, welche eine ebenso starke Spannung hat, als die in der Spindel, wodurch allem weiteren Ausströmen ein Ende gemacht ist. Kann dagegen die Luft immer frei ausweichen, wie in einem Gefäfse mit grofser seitlicher Oeffnung oder durch eine Blase, durch welche wenigstens die Elektricität nach der äufsern Luft abgeleitet und die innere Luft nie vollkommen geladen wird, so kommt die Spindel nicht zum Stillstande. Dafs eine äufsere Ableitung durch das blofse Anbringen der Hand oder eines Knöchels die Bewegung der Spindel wieder herstellt, erklärt sich ganz befriedigend nach dem Gesetze der Ladung. Indem nämlich durch die Ableitung bei z. B. positiver Elektrisirung der Spindel aus der äufsern Glaswandung positive Elektricität abgeleitet, negative Elektricität zugeführt wird, wird ein Theil der positiven Elektricität auf der innern Fläche gebunden, diese kann neue positive Elektricität von der Luft und diese demnächst wieder von den Spitzen aufnehmen; es tritt also ein neues Ausströmen ein, welches so lange als die Ableitung fortdauert, bis endlich zu dem Puncte, wo das Medicinglas bis zur Selbstentladung geladen ist, mit welcher dann wieder die früheren Bedingungen zur Ladung eintreten. Wird nach Abhebung des Apparats von dem Conductor der Stanniolstreifen und zugleich das Glas aufsen berührt, so findet vermittelst der Spitzen eine allmälige Entladung des Medicinglases, welches sich durch das frühere Ausströmen aus den Spitzen, selbst wenn aufsen keine Ableitung mit der Hand statt fand, doch bis zu einem gewissen Grade geladen hatte, statt, und diese allmälige Entladung ist abermals mit einem Ausströmen aus den Spitzen und zwar in dem angenommenen Falle von vorhergegangener positiver Elektrisirung der Spindel mit einem Ausströmen von negativer Elektricität verbunden, wodurch also die wesentliche Bedingung der Bewegung der Spindel gegeben ist. Da die Spindel und überhaupt das Flugrad im luftleeren Raume unbeweglich bleibt, auch wenn eine äufsere Ableitung statt findet, so scheint allerdings die Erklärung Cavallo's[1] da-

1 Vollst. Abhandl. u. s. w. Bd. I. S. 247.

Digitized by Google

durch gerechtfertigt, dafs die Bewegung von einer wechselseitigen Zurückstofsung der Luft und der Spitze abhängt, indem die an die Spitze angrenzende Luft durch Mittheilung eine gleichartige Elektricität mit derjenigen des Flugrades erhält, gleichartig elektrisirte Körper sich aber abstofsen. Aus dieser Abstofsung, die nothwendiger Weise für die Spitze und damit für die ganze Spindel eine entgegengesetzte Richtung haben mufs, wie für die Lufttheilchen, würde sich auch das Blasen, das von den Spitzen ausgeht, erklären lassen, welches wohl schwerlich blofs seinen Grund in einer eigenthümlichen Relation des ausströmenden elektrischen Fluidums an und für sich gegen unser Gemeingefühl hat und welches einige mit jenem eigenthümlichen Gefühle wie von Spinnengewebe zusammengestellt haben, welches man hat, wenn man sich mit dem Gesichte einem stark elektrisirten Isolator, z. B. der geriebenen Scheibe einer Elektrisirmaschine, nähert. Dafs vielmehr die zurückgestofsenen Lufttheilchen diesen Wind bewirken, scheint auch daraus hervorzugehn, dafs dieses Blasen eine bemerkliche mechanische Gewalt ausübt. Priestley hat durch das Blasen feststehender Spitzen kleine papierne Windmühlenflügel, wie die, womit die Knaben spielen, und leichte Räder von anderer Gestalt in Bewegung gesetzt[1]. Indem die Luft durch die Mittheilung von den Spitzen aus in einem eingeschlossenen Raume sehr bald gleichförmig bis zu gleicher Entgegenwirkung gegen die der Spindel zugeführte Elektricität geladen ist, stöfst sie das entgegengesetzte Ende der Spitze (ihre Ecke) ebenso stark ab, als den vordern Theil (die Spitze selbst), und da sich diese beiden entgegengesetzten gleichen Bewegungen aufheben, so mufs das Flugrad zur Ruhe kommen. Dafs die Spindel von einem metallenen Ringe umgeben, der oben mit einer Glasplatte bedeckt war, sich nicht drehte, scheint etwas Räthselhaftes zu haben. Es ist in der Erzählung dieses Versuchs nicht näher angegeben, worauf der untere Rand des Ringes aufruhte. Da aber im Fortgange als eine erste Abänderung des Versuchs die Verbindung des Ringes (hohlen Cylinders) mit dem Conductor *nur* durch einige Metallstückchen angeführt ist, so dürfte man vermuthen, dafs im ersten Falle der Ring in seinem ganzen Umfange mit dem

1 S. dessen Geschichte der Elektricität u. s. w. S. 390.

Conductor in Verbindung stand, und dann hat der Erfolg nichts Auffallendes mehr, weil dann bei gleichartiger Elektrisirung des Ringes mit der Spindel alle Ausströmung aus den Spitzen und damit die Elektrisirung der Luft verhindert werden mufste. Ebendaher mufste die Drehung eintreten, wenn der Ring unten durch eine Glasplatte geschlossen ward, weil dann die Ableitung der Elektricität durch denselben gehindert und das Elektrisiren der Luft durch das Ausströmen von den Spitzen aus möglich wurde. Merkwürdig ist der Erfolg des fünften Versuchs, da er zu beweisen scheint, dafs die Dämpfe von Aether und Alkohol bessere Leiter sind, als die Wasserdämpfe, da doch diese Substanzen im flüssigen Zustande gerade das entgegengesetzte Leitungsverhalten zeigen, wobei jedoch die ungleiche Dichtigkeit der Dämpfe zu berücksichtigen ist, indem die des Wassers, als die dünneren, dem leeren Raume näher liegen. Gehler glaubt, das eigentliche bewegende Princip des Flugrades liege einzig und allein in der Elektricität selbst, ohne dafs die Luft dabei mitwirke. Nach ihm, als einem Dualisten, strömen sowohl die positiven als auch die negativen Spitzen Elektricität aus. Man könne nun die Bewegung des Rades entweder aus dem elektrischen Zurückstofsen der ausgehenden Materie gegen die nachfolgende erklären, oder man könne sie dem Drucke gegen den Draht beim Ausgange, wie bei der Kempelen'schen Dampfmaschine und der Segner'schen hydraulischen Maschine, zuschreiben. Diese beiden Erklärungen, meint Gehler, beruhen doch nur auf Vorstellungsarten, die vielleicht am Ende auf einerlei hinauslaufen; denn es könne ja wohl seyn, dafs das elektrische Abstofsen und der Druck der Elektricität, die durch die Krümmung zur Spitze herauszugehn gezwungen ist, Wirkungen von einerlei Ursache seyen. Die erstere Erklärungsweise scheint uns auf keine Weise zulässig, da die ausströmende Elektricität auf die nachfolgende keine stärkere Zurückstofsung ausüben könne, als sie schon vor dem Ausströmen ausübt, und also auch unabhängig vom Ausströmen die Drehung des Flugrades erfolgen sollte. Die Vergleichung mit der Segner'schen hydraulischen Maschine scheint uns nur auf die Weise richtig aufgefafst zu seyn, dafs die Repulsion in der Krümmung der Spitze sogleich ein Uebergewicht rückwärts erhält, sobald ihr nicht mehr eine gleiche Repulsion in der Spitze selbst vorwärts entgegenwirkt,

by Google

die eben damit aufhören mufs, wenn die Elektricität ausströmt, und ihre Repulsivkraft dann nicht mehr durch *Druck* vorwärts auf die Spitze wirken kann, weil sie auf die Bewegung der ausströmenden Theilchen selbst verwendet wird. Es steht dieser Erklärungsart nur das Aufhören der Drehung im luftleeren Raume entgegen und man kann sie mit diesem ausbleibenden Erfolge nur etwa dadurch in Uebereinstimmung bringen, dafs man annimmt, es komme wegen des zu schnellen Ausströmens im leeren Raume, den wir eigentlich als einen *absoluten* Leiter zu betrachten haben, nie zu einer merklichen Spannung und also auch zu keiner merklichen Repulsivkraft im Flugrade, weswegen dann auch das Uebergewicht derselben in der Ecke der Krümmung keine Bewegung, rückwärts der Richtung des Ausströmens *entgegen*, hervorbringen kann.

Von ganz anderer Art, als die Flugräder und die durch das Ausströmen von den Spitzen aus in Bewegung gesetzten Räder, sind die *elektrischen Räder*, die Franklin zuerst angegeben hat, denn Winkler's Erfindung, die Priestley[1] als ein elektrisches Rad anführt, ist nach der Beschreibung nichts weiter als ein Stern mit sechs Spitzen[2], die im Dunkeln leuchten und ein Feuerrad vorstellen, wenn der Stern durch eine äufsere Kraft gedreht wird.

Franklin[3] beschreibt in einem Briefe vom 1. September 1747 das erste Rad unter dem Namen des *elektrischen Bratenwenders*. Die Vorrichtung besteht in einer waagerechten hölzernen Scheibe, welche durch einen Stift in ihrer Mitte gehalten wird. Dieser Stift läuft unten auf einer an sein Ende befestigten Spitze in einem Lager und geht oben durch ein Loch in einer festen Messingplatte, die ihn senkrecht hält. So kann sich das Bret sehr leicht und frei waagerecht umdrehen. Aus dem Umkreise des Bretes gehen dreifsig gläserne Stäbe nach der Richtung der Halbmesser horizontal heraus; ihre äufsersten Enden stehen ungefähr 4 Zoll weit aus einander und haben messingene Knöpfe, welche also durch die Glasstäbe isolirt sind. Setzt man eine geladene Flasche, deren Knopf + E. hat, nahe an den äufsersten Umfang des Kreises,

1 Geschichte der El. u. s. w. S. 49.
2 Philos. Transact. Nr. 475. p. 311.
3 Briefe von der El. übers. von Wilke. Leipzig 1758. S. 40.

den diese Knöpfe bilden, so zieht das + E. den nächsten Knopf an, giebt ihm einen Funken, und stöfst ihn darauf wieder fort. Dieses wiederfährt nun auch dem folgenden Knopfe u. s. w., wodurch das Rad in horizontaler Ebene umgedreht wird. Dadurch erhalten nach und nach alle Knöpfe + E. und behalten auch dasselbe, weil sie isolirt sind. Hierdurch kann man jedoch das Rad nur einmal umdrehn; denn wenn der erste Knopf, der sein + E. behalten hat, wieder an die Flasche kommt, so wird er von ihr abgestofsen, und die Bewegung hört auf. Soll sie fortgehn, so mufs man der ersten Flasche gerade gegenüber eine zweite an das Rad stellen, deren Knopf — E. hat. Diese zieht die von jener Flasche mit + E. geladenen Knöpfe stark an, verdoppelt dadurch die Geschwindigkeit der Bewegung, giebt auch den Knöpfen Funken, wodurch sie — E. erhalten und bei der Rückkehr zur ersten Flasche desto stärker angezogen werden. Dadurch ward bei einem Versuche des Rades Lauf so beschleunigt, dafs es in einer Minute 12- bis 15mal umlief und ein Gewicht von hundert spanischen Thalern mit sich fortführte. Am Ende entladen sich dadurch beide Flaschen. Ein Bratspiefs, auf den Stift in der Mitte des Brettes aufgesteckt, wird dadurch gehörig, aber in verticaler Stellung umgedreht.

Nach ebendiesen Grundsätzen verfertigte Franklin das zweite sich selbst bewegende Rad[1]. Dieses ist eine runde belegte Glasscheibe, welche sich zwischen zwei isolirten Spitzen horizontal um ihre Axe drehen kann. An ihrem Rande befinden sich zwei Bleikügelchen, etwa 6 Zoll weit aus einander, von denen eines an der obern Fläche durch einen Stanniolstreifen mit der obern, das andere an der untern Fläche durch einen gleichen Streifen mit der untern Belegung verbunden ist. Rund um die Glasscheiben stehn auf dem Gestelle, auf welchem sich die Glasscheibe drehen kann, zwölf Glassäulen mit messingenen Knöpfen, etwa 4 Zoll weit aus einander. Sobald man die Glasscheibe ladet, fängt dieselbe an umzulaufen. Die Bleikugel, welche + E. hat, wird von der nächsten Säule angezogen, giebt dem Knopfe derselben + E., wird von derselben weiter fortgestofsen u. s. w. Dadurch läuft das Rad um. Nun kommt die andere Bleikugel, die — E.

1 Benj. Franklin's Briefe u. s. w. S. 42.

hat, gegen die mit + E. geladenen Knöpfe der Pfeiler, wird angezogen, durch einen Funken mit + E. versehn und dann weiter fortgestofsen, welches den Umlauf befördert. Franklin's Rad lief auf diese Art eine halbe Stunde lang in jeder Minute 20mal um, welches zusammen 600 Umläufe und 7200 Funken in die Knöpfe der Säulen aus jeder Kugel ausmacht. Der Erfolg ist, dafs die Scheibe entladen wird. Am Ende, wo wegen der schwachen Spannung die Anziehungen und Abstofsungen an und für sich nicht stark genug wären, wird die Bewegung nach dem Gesetze der Trägheit mit unterhalten. Wollte man statt zwei Kugeln acht nehmen, die abwechselnd mit beiden Seiten der Scheibe verbunden wären, so würde die Geschwindigkeit ansehnlich verstärkt werden, aber die Bewegung nicht so lange dauern.

Der Marquis de Courtenvaux [1] hat die Einrichtung dieses Rades in einigen Stücken verbessert, wovon man auch bei Sigaud de la Fond [2] Nachricht findet. Die Absicht war, dieses Rad durch Zählung seiner Umläufe in einer Minute als *Elektrometer* zu gebrauchen.

Allerlei Spielwerke mit dem Kreuze oder Drahte mit umgebogenen Spitzen beschreibt Adams [3].

P.

---

1 Rozier Journal de physique. Avril 1774.

2 Précis historique et expérimental des phénomènes électriques. Paris 1781.

3 Versuch über die Elektricität; aus d. Engl. übers. Leipzig 1781. gr. 8. S. 63. u. 64. Vergl. J. Priestley's Geschichte der Elektricität übers. v. Krünitz 1772. 4. Benj. Franklin's Briefe von der Elektricität übers. von J. C. Wilcke. Leipzig 1758. Experiments and observations on Electricity, made at Philadelphia. London 1769. 4. Coulomb Mémoires de l'Académie de Paris 1784. p. 229 fg. Annales de Chimie. Tome III. Cavallo's Vollständige Abhandlung der Elektricität in zwei Bänden. Vierte Auflage. Leipzig 1797. 8. J. B. Biot's Lehrbuch der Experimentalphysik übers. von Fechner. Zweite Auflage. Leipzig 1829. Band II. S. 181. J. B. Biot Traité de Physique. Tome II. 244.

Digitized by Google

Springbrunnen.

Fontaine; *Fons saliens, Aqua saliens*; Fontaine, Eau jaillissante; *Fountain, Well-spring, Waterspout.*

Man bezeichnet mit diesem Namen jede natürliche und künstliche Vorrichtung, vermittelst deren ein kleinerer oder gröfserer Wasserstrahl in die Höhe springt. Daneben haben einige dieser Vorrichtungen besondere Namen, mit denen sie ausschliefslich benannt werden, ohne dafs man sie unter der gemeinschaftlichen Bezeichnung mit zu verstehn pflegt, z. B. die *Feuerspritzen*, die dem Wesen nach ganz eigentliche Springbrunnen sind, der *Heronsball*, der *Heronsbrunnen*, der *Springheber*, der *Sprungkegel* und vielleicht noch einige andere, gleichfalls hierzu gehörige Apparate.

Die Theorie der Springbrunnen ist höchst einfach und läfst sich in ihren Elementen leicht auf die Gesetze und Erscheinungen der communicirenden Röhren zurückführen. Es ist nämlich erwiesen[1], dafs gleichartige Flüssigkeiten in communicirenden Röhren ein gleiches Niveau erhalten. Wird demnach der eine Schenkel einer communicirenden Röhre abgeschnitten, so mufs ein kleiner, am Ende des abgeschnittenen Theils befindlicher Wassercylinder und so jeder folgende, welcher an dessen Stelle kommt, den andern Schenkel als stets bis zu gleichbleibender Höhe gefüllt betrachtet, das Bestreben erhalten, bis zu derjenigen Höhe aufzusteigen, welche er bei noch vorhandener Röhre erreichen würde. Man drückt diesen Satz auch wohl so aus: *das Wasser steigt so hoch, als es fällt.* Von einer andern Seite betrachtet denke man sich von einer communicirenden Röhre den einen Schenkel βb weggeschnitten. Die unterhalb der horizontalen Fläche $\alpha\beta$ liegenden Wassertheile halten einander das Gleichgewicht. Wäre die Röhre in der Ebene $\alpha\beta$ abgeschnitten, so würde nach hydrodynamischen Gesetzen[2] ein Wassercylinder von verschwindender Höhe oberhalb α mit einer Geschwindigkeit $V = 2\sqrt{gH}$ herabfallen, welche der Höhe H von α bis a,

Fig. 366.

1 Vergl. *Röhre*. Bd. VII. S. 1399.
2 S. *Hydrodynamik*. Bd. V. S. 538.

Digitized by Google

also bis zum Wasserspiegel, zugehört. Indem aber der diese Geschwindigkeit erzeugende Druck sich von α bis β fortpflanzt, so wird ein gleicher Cylinder in β hierdurch sollicitirt werden, mit gleicher Geschwindigkeit sich zu bewegen, also bis b aufwärts zu springen.

Hieraus ergiebt sich die allgemeine Regel: soll das Wasser aus einer Oeffnung in verticaler oder schräger Richtung in die Höhe springen, so mufs es beim Ausflusse aus dieser Oeffnung eine Geschwindigkeit der Bewegung erhalten, welche durch die Fallgeschwindigkeit von derjenigen Höhe herab, bis zu welcher es aufsteigen soll, erzeugt wird. Diese Geschwindigkeit erhält es durch den Druck einer Wassersäule von derjenigen Höhe, die der aufspringende Strahl erreichen soll; allein es erhält sie nicht hierdurch allein, sondern durch jeden Ersatz dieses Druckes, und an die Stelle der drückenden Wassersäule kann daher auch ein mechanisch bewegter Embolus (wie namentlich bei den Feuerspritzen) oder die Elasticitätsäufserung der comprimirten Luft, des Dampfes u. s. w. treten. Hierbei vernachlässigt man den Druck der Atmosphäre, welcher gegen das Wasser in beiden Schenkeln in der Regel bis auf einen unbedeutenden Unterschied gleich ist, zu berücksichtigen; wenn aber der abgeschnittene Schenkel sich im luftleeren Raume endigt, so erhält man den Springbrunnen im Vacuum, das ausspringende Wasser erhält dann nicht blofs den Druck der Wassersäule im andern Schenkel, sondern auch der über dieser ruhenden atmosphärischen Luft, und da dieser einer Wassersäule von fast 32 par. Fufs gleich ist, so würde die Druckhöhe in diesem Falle, die Höhe der Wassersäule im Schenkel der Zuleitungsröhre $= 0$ gesetzt, einer Wassersäule von 32 par. Fufs gleich seyn[1].

Bei dieser einfachen Darstellung ist auf die Hindernisse des sich bewegenden Wassers gar keine Rücksicht genommen; inzwischen sind diese so innig mit der Sache verbunden, dafs das springende Wasser nie diejenige Höhe wieder erreicht, von der es herabgefallen ist und die es, in einer Röhre eingeschlossen, statisch erhalten würde. Es sind demnach noch die Bedingungen zu berücksichtigen, welche die Höhe des aufspringenden Wasserstrahls modificiren. Diese sind

1 Vergl. *Aërostatik*. Bd. I. S. 266.

Digitized by Google

zuerst hauptsächlich die Adhäsion, welche die Wassertheile beim Herabfliefsen von einer gegebenen Höhe in der Zufluſsröhre erleiden. Allerdings folgt aus der oben mitgetheilten Formel, wonach $V = 2\sqrt{gH}$, dafs das aus einer gegebenen Höhe $= H$ herabfallende Wasser eine Geschwindigkeit erhält, vermöge welcher es wieder bis zu dieser Höhe steigen müfste, allein es ist bereits oben gezeigt[1] worden, dafs der hieraus folgende Ausdruck $H = \frac{V^2}{4g}$ aus der angegebenen Ursache einer Modification bedarf. Die dort angegebene, durch v. Gerstner[2] aus den Versuchen der mit Recht geachtetsten Hydrauliker abgeleitete Formel giebt mit Weglassung des aus der einfachen Geschwindigkeit entstehenden Hindernisses die Gröfse

$$H = \frac{V^2}{4g} + \frac{4L}{180\,d} \times \frac{V^2}{4g} = \frac{V^2}{4g}\left(1 + \frac{L}{45\,d}\right).$$

Dieses giebt die Gleichung

$$\frac{V^2}{4g} = \frac{H}{1 + \frac{L}{45\,d}},$$

woraus man sieht, dafs die Sprunghöhe der Fallhöhe keineswegs gleich, auch nicht unmittelbar proportional, sondern vom Verhältnisse der Länge und des Durchmessers der Zuleitungsröhre abhängig sey. Ist unter andern $L = 45\,d$, so wird schon die doppelte Fallhöhe erfordert, wenn man die einfache Sprunghöhe verlangt, ja man ersieht bald, dafs bei sehr langer und nicht beträchtlich weiter Zuleitungsröhre leicht mehr als die doppelte Fallhöhe erforderlich seyn kann. Die Sprunghöhe könnte der Fallhöhe nur dann gleich seyn, wenn $L = 0$ wäre. In der angegebenen Einfachheit ist die Formel aber nur dann zulässig, wenn die Geschwindigkeit V nicht beträchtlich ist und etwa nur etliche Fufs in einer Secunde beträgt, wenn diese dagegen gröfser ist, so mufs die für die Röhrenleitungen gefundene, mehr zusammengesetzte Formel in Anwendung kommen, wonach mit Rücksicht auf die vorhandenen Biegungen (die Summe der Biegungswinkel $= S$ gesetzt)

---

2 S. *Röhre.* Bd. VII. S. 1417.

1 Vergl. Handbuch d. Mechanik. Bd. II. S. 224.

$$H = \frac{V^2}{4g} + \frac{L}{45d}\left(\frac{V^2}{4g} + \frac{V}{100\sqrt{d}}\right) + 0{,}001\,S\,\frac{V^2}{4g}.$$

$$= \frac{V^2}{4g}\left(1 + \frac{L}{45d} + \frac{4gL}{45.100.V.d.\sqrt{d}} + 0{,}001\,S\right).$$

Nennt man also die Sprunghöhe $= z$,

so ist

$$z = \frac{V^2}{4g} = \frac{H}{1 + \frac{L}{45d} + \frac{4gL}{4500\,V.d.\sqrt{d}} + 0{,}001\,S.}.$$

Die Formel zeigt, dafs die Sprunghöhe mit der Vergröfserung des Durchmessers der Zuleitungsröhren wächst, und wenn dieser unendlich, zugleich aber die Leitung ohne alle Krümmungen wäre, so würden die drei letzten Glieder des Nenners wegfallen und die Sprunghöhe der Fallhöhe gleich werden. Mit der Weite dieser Röhre wächst aber die Dicke des Wasserstrahls und man würde dann theils nicht Wasser genug haben, um die Fontaine zu speisen, in vielen Fällen aber könnte selbst die Wegschaffung der bedeutend grofsen Wassermasse, die mit der Geschwindigkeit (also auch der Sprunghöhe) des Strahles wächst, Schwierigkeiten erzeugen. Nimmt man hinzu, dafs die Geschwindigkeit der Bewegung vermehrt wird, wenn man diese von einer gröfsern Masse auf eine kleinere überträgt[1], so liegt in allen diesen Bedingungen ein genügender Grund, die Ausflufsöffnung zu verkleinern. Dieses geschieht dadurch, dafs man das Ausgufsrohr mit einer (verhältnifsmäfsig) dünnen Platte bedeckt, die eine enge Oeffnung hat, oder dafs man ein engeres Ausgufsrohr aufsetzt, oder dafs man bei grofsen Fontainen in das weitere Rohr einen Kegel, die Spitze nach unten gekehrt, einsenkt, welcher nur an vier oder sechs Puncten befestigt ist, wodurch statt eines massiven Strahls ein hohler Wassercylinder erhalten wird, welchen man auch erhält, wenn man die Deckelplatte rundum (mit Ausnahme einiger festhaltenden Stellen) einschneidet. Der Strahl erhält jedoch durch den Widerstand, welchen die Wandungen der Oeffnungen ihm entgegensetzen, eine neue Verzögerung, die bei der Berechnung seiner Sprunghöhe berücksichtigt werden mufs. Wie grofs diese Verzöge-

1 Vergl. *Sprungkegel.*

rung sey, ist für die verschieden gestalteten Ausgufsöffnungen bereits ausführlich erörtert[1] und zur Bezeichnung dieser Gröfse der Factor m gewählt worden; es dürfte jedoch erforderlich seyn, hier zuvor noch die Versuche zu erwähnen, welche speciell durch Bossut über den Einfluſs der Sprungröhren auf die Höhe und Gestalt des Wasserstrahls angestellt worden sind und worauf namentlich Barlow[2] nebst andern Hydraulikern die Theorie dieser Wasserkünste gründen. Der vollständigste unter den beiden gebrauchten Apparaten bestand aus einem 11 Fig. 367. Fufs hohen Reservoir A B C D mit einer unten angebrachten horizontalen Röhre E C aus Zinn, 6 Fufs lang, $3\frac{3}{4}$ Zoll Durchmesser und am Ende verschlossen. Die Oeffnung F hatte 2 Linien, G 4 Linien, H 8 Linien im Durchmesser, die konische Röhre K M hatte 5 Zoll 10 Linien Höhe bei 9 und 4 Lin. Durchmesser, die cylindrische Röhre I N war von gleicher Höhe und 4 Lin. Durchmesser, das Reservoir wurde bei den Versuchen stets bis an den Rand voll erhalten. Der Wasserstrahl aus F erreichte 10 Fufs 10 Lin. Höhe, etwas seitwärts geneigt 10 F. 4 Z.; der aus G vertical 10 Fufs 5 Z. 10 Lin., geneigt 10 F. 7 Z. 6 Lin.; der aus H vertical 10 F. 6 Z. 6 Lin., geneigt 10 F. 8 Z.; der aus K M vertical 9 F. 6 Z. 4 Lin., geneigt 9 F. 8 Z. 6 Lin.; der aus I N vertical 7 F. 1 Z. 6 Lin., etwas geneigt 7 F. 3 Z. 6 Linien.

Meistens gründen die Hydrauliker die Formel zur Bestimmung der für eine gewisse Sprunghöhe erforderlichen Fallhöhe auf die Versuche von Mariotte[3], welcher für eine Sprunghöhe $= z$ die Fallhöhe $= z + \frac{z^2}{300}$ für eine Oeffnung in einem dünnen Bleche fand. Hiernach wäre also für eine verticale Fallhöhe

$$z = -150 + \sqrt{(300H + 22500)}$$

---

1 S. *Rad.* Bd. VII. S. 1166 und die Nachweisungen daselbst. Neuere in Beziehung auf Springbrunnen angestellte Versuche von Castel hat d'Aubuisson mitgetheilt in Ann. des mines 1833. T. III. Liv. I. p. 1.

2 Encyclop. metrop. Art. Hydrodynamics p. 241.

3 Traité du mouvement des eaux. In Oeuv. T. II. p. IV. disc. I. Uebers.: Grundlehren der Hydrostatik und Hydraulik. Von D. Mario. Leipz. 1723. 8.

und für ein geeignetes Ausgufsrohr

$$z = -100 + r(133H + 10000).$$

V. Langsdorf[1] dagegen setzt beim Aufspringen des Wassers aus einer Oeffnung in einem dünnen Bleche

$$z = -\left(150 + \frac{9L.m^2.d^4}{2D^5}\right) + r\left[300H + \left(150 + \frac{9L.m^2.d^4}{2D^5}\right)^2\right]$$

und für ein kurzes Ausgufsrohr

$$z = -\left(100 + \frac{2L.d^4}{D^5}\right) + r\left[133H + \left(100 + \frac{2L.d^4}{D^5}\right)^2\right],$$

wenn L und D die Länge und den Durchmesser der Zuleitungsröhre, d den Durchmesser der Sprungöffnung, m den Coefficienten der Zusammenziehung der Wasserader und H die Fallhöhe bezeichnen.

Rücksichtlich der Ausflufsröhren fand schon s'Gravesande[2], dafs konische Röhren eine geringere Sprunghöhe geben, als cylindrische, die mit einer in der Mitte mit einem Loche versehenen Platte bedeckt sind; bei einer Fallhöhe von 2 Fufs betrug der Unterschied schon 2 Zoll. Theoretische Untersuchungen hierüber sind sehr verwickelt[3] und es kommt hierbei nicht blofs auf die Höhe, sondern auch auf die Schönheit des Strahls an. V. Langsdorf räth daher mit Recht, die Deckplatten nicht zu dünn zu machen, weil der aus ihnen aufsteigende Strahl keineswegs so glatt und schön wird, als aus Sprungröhren. Auch dann, wenn die Deckelplatte eine ringförmige Oeffnung hat, soll man die Dicke dieser Platte 4mal so grofs wählen, als die Breite des Einschnitts beträgt, welche den hohlen Wassercylinder bildet, welches Verhältnifs der Länge des Sprungrohrs für einen massiven Strahl gleichkommt, dessen Höhe das Vierfache des Durchmessers seyn soll. Dafs auch der Springstock, auf welchen das Sprungrohr aufgesetzt wird, weiter seyn müsse, als das letztere, versteht sich von selbst, inzwischen ist es nach v. Langsdorf hinreichend, wenn ersterer den fünffachen Durchmesser erhält. Allerdings wird der Widerstand, welchen das Wasser beim Ausflusse aus einer dünnen Platte erleidet, leichter überwun-

1 Handb. der gemeinen u. höhern Mechanik. Heidelberg 1807. S. 192.

2 Elementa phys. T. I. §. 1584.

3 Kästner Anfangsgr. d. Hydrodynamik. Gött. 1769. 8. S. 168.

Digitized by Google

den, als bei der Anwendung einer etwas längern cylindrischen oder konischen Ausgufsröhre; allein namentlich in Beziehung auf *Feuerspritzen* bemerkt v. Gerstner, dafs der Wasserstrahl sich dann zu sehr zerstreut und bei bedeutend hoher Spritzung die einzelnen, ins Feuer fallenden Tropfen von nicht hinlänglicher Wirkung sind. Karsten[1] war daher mit dem Effecte einer Feuerspritze am meisten befriedigt, bei welcher der Durchmesser der obern Oeffnung des Gufsrohrs 7,5 Lin., der untern 1,5 Zoll, die Länge 3,5 Fufs = 42 Zoll betrug; alle Bedingungen erwägend findet aber v. Gerstner es am besten, ein weiteres cylindrisches Ausgufsrohr mit einem Aufsatze zu wählen, dessen innere Oeffnung die Gestalt des zusammengezogenen Wasserstrahls hat. Dieses ist gewifs am zweckmäfsigsten, da nach Michelotti's Versuchen bei so gestalteten Ausflufsröhren die gegebene Ausflufsmenge der theoretischen fast ganz gleich kommt, so dafs also der Widerstand gering seyn mufs, der Strahl aber am besten zusammengehalten wird[2].

Nach v. Gerstner sind die Bestimmungen der Dimensionen der Zuleitungsröhren von Mariotte nicht mit genügender Vollständigkeit und Schärfe angegeben und er beschränkt sich daher auf die bereits mitgetheilte Hauptformel. Wird in dieser die Geschwindigkeit $V = 2\sqrt{gH}$ gesetzt, so erhält man

$$z = \frac{V^2}{4g} = \frac{H}{1 + \frac{L}{45\,d} + \frac{2L}{4500\,d}\sqrt{\frac{g}{d.H.}} + 0{,}001\,S}.$$

Die Geschwindigkeit des Fliefsens hängt hauptsächlich von dem Verhältnifs $\frac{L}{d}$ ab, und da die Länge der Zuleitungsröhren in der Regel bedeutend grofs ist, so macht man diese beträchtlich weiter, als die Ausgufsröhren oder die Sprung-Oeffnung in der Deckelplatte. Heifst der Durchmesser der Mündung = δ und der Coefficient der Zusammenziehung des

---

1 Abhandlung über die vortheilhafteste Anordnung der Feuerspritzen u. s. w. Greifsw. 1773.

2 Michelotti fand den Coefficienten m = 0,984, also von 1 nur wenig verschieden. Nach ihm ist die erforderliche Curve für die innere Form der Ausgufsröhren eine Cykloide von einer eigenthümlichen Art; v. Gerstner giebt Anleitung zu ihrer mechanischen Zeichnung.

Wasserstrahls = m, so fliefst bei einer Geschwindigkeit = V in jeder Secunde aus dieser Oeffnung eine Wassermasse $= \frac{m \cdot \pi \cdot \delta^2 \cdot V}{4}$, und da die nämliche Wassermasse durch jeden Querschnitt der Zuleitungsröhre mit der Geschwindigkeit = v fliefsen mufs, so hat man

$$\frac{m \cdot \pi \cdot \delta^2 \cdot V}{4} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot v}{4},$$

woraus die Geschwindigkeit in der Zuleitungsröhre

$$v = \frac{m \cdot \delta^2 \cdot V}{d^2}.$$

Setzt man also die Sprunghöhe $z = \frac{V^2}{4g}$, so erhält man mit Vernachlässigung des Widerstandes, welcher von der ersten Potenz der Geschwindigkeit abhängt, die Fallhöhe

$$H = \frac{V^2}{4g} + \frac{L}{45d} \cdot \frac{m^2 \cdot \delta^4}{d^4} \cdot \frac{V^2}{4g} + \frac{S}{1000} \cdot \frac{m^2 \cdot \delta^4}{d^4} \cdot \frac{V^2}{4g}.$$

Hieraus folgt dann die Sprunghöhe

$$z = \frac{V^2}{4g} = \frac{H}{1 + \frac{m^2 \cdot \delta^4}{d^4}\left(\frac{L}{45d} + \frac{S}{1000}\right)}.$$

Zu gröfserer Deutlichkeit dienen folgende Beispiele in Zahlengröfsen. Es sey die Länge der Zuleitungsröhre L = 3000 Fufs, ihr Durchmesser d = 2 Zoll, der Durchmesser der Mündung δ = 0,5 Z., der Coefficient der Zusammenziehung der Wasserader m = 0,619, die Summe der vorkommenden Biegungswinkel S = 200 Grad, die lothrechte Fallhöhe H = 30 Fufs, so ist die Sprunghöhe

$$z = \frac{30}{1 + (0{,}619)^2 \cdot (\frac{1}{4})^4 \left(\frac{3000}{45 \cdot \frac{1}{5}} + \frac{200}{1000}\right)} = 18{,}8 \text{ Fufs.}$$

Wäre dagegen der Durchmesser der Mündung δ = 1 Zoll, alle übrige Gröfsen beibehalten, also $\frac{\delta}{d} = \frac{1}{2}$, so wäre die Sprunghöhe nur 2,8 Fufs.

Die hier mitgetheilten wesentlichsten Betrachtungen lassen sich noch weiter fortsetzen. Unter andern kann man die Fragen beantworten, wie grofs die bei gegebenen Dimensionen aufspringende Wassermasse sey, welches Verhältnifs der Fall-

Digitized by Google

höhe und der Weite der Zuleitungsröhren gewählt werden mufs, wenn ein Strahl von einer bestimmten Höhe und Stärke verlangt wird. Die Lösung dieser und anderer Aufgaben liegt in den mitgetheilten Hauptformeln. Aufserdem kommt die Stärke der zu wählenden Röhren in Betrachtung, worüber jedoch bereits[1] gehandelt worden ist. Ein wesentlicher Theil der hierbei zu untersuchenden Gegenstände betrifft ferner die Gestalt der Ausgufsröhren, bei denen zuweilen mannigfache Verzierungen angebracht werden, und die Gröfse sowohl, als auch die Gestalt und Einrichtung der Bassins, worin sich das wieder herabfallende Wasser sammelt, deren Durchmesser der Höhe und Stärke der Wasserstrahlen proportional, meistens aber bedeutend grofs seyn mufs, damit der Wind nicht die obersten Wassertropfen über den Rand hinaustreibe, was jedoch ohne übermäfsige Gröfse wohl nie völlig verhütet werden kann. Ueber alles dieses kann jedoch hier nicht ausführlich gehandelt werden und ich verweise deswegen auf das bereits erwähnte Werk von v. Gerstner und auf die noch ausführlichern Untersuchungen von v. Langsdorf[2], auch findet man vieles, namentlich über Anlage und Verzierungen der Fontainen, in einem ältern Werke von Schwitzer[3].

Kleinere Fontainen giebt es in Menge; ihr massiver oder hohler Strahl erreicht 10 oder 20 oder höchstens etwa 30 Fufs. Die gröfsern erfordern bedeutende Kosten, nicht blofs der Anlage, sondern auch der Unterhaltung, namentlich wegen der Beschädigung der Röhren durch den starken Wasserdruck. Die bekanntesten grofsen Fontainen sind die zu Versailles und zu Herrenhausen bei Hannover, wovon bereits geredet worden ist[4]; beide sind sehr zusammengesetzte Anlagen, insbesondere die zu Versailles, doch beträgt die gröfste Höhe der stärksten Strahlen nur etwa 60 par. Fufs. Die Wasserkünste zu Herrenhausen treiben aufser einer grofsen Fontaine blofs noch einige klei-

---

1 S. *Röhre*. Bd. VII. S. 1402.

2 Ausführliches System d. Maschinenkunde u. s. w. Heidelberg 1826. 4. Th. I. S. 214 ff. 578 ff.

3 Introduction to Hydrostaticks and Hydraulicks. Lond. 1729. 2 T. 4. mit vielen Ktf. Weniger geschmackvolle Angaben finden sich in Böckler Architectura curiosa nova, d. i. neue Bau- und Wasserkunst. Nürnb. 1664. fol.

4 S. *Druckpumpe*. Bd. II. S. 637.

nere, allein die grofse erreicht, wenn nur drei Räder, wie gewöhnlich, zum Betriebe verwandt werden, gleichfalls 60 par. Fufs, in aufserordentlichen Fällen aber werden fünf Räder benutzt und dann soll der Strahl 120 Calenberger Fufs erreichen, jedoch schätze ich seine Höhe nur etwa auf 100 par. Fufs, die er indessen wohl sicher erreicht, da auch der gewöhnliche über die hohen Linden des Gartens noch sichtbar ist und also über diese hinausragen mufs. Diese Fontaine scheint demnach die höchste künstliche, die es giebt, da ich die dritte, vorzüglich berühmte, zu Cassel nur zu 80 bis 90 Fufs schätze, wie auch durch v. Langsdorf geschieht. Letztere wird durch Wasser gespeist, welches in Röhren von dem nahe bei Wilhelmshöhe liegenden Berge herabfliefst. Betrachten wir diese Werke als dem Höchsten nahe liegend, was die menschliche Kunst zu leisten vermag, so zeigen die riesenhaften Fontainen, die *Geiser* auf Island, was für weit gröfsere Mittel der Natur zu Gebote stehn und wie sehr daher der Kunstfleifs mit seinen Erzeugnissen hinter denen zurückbleibt, die durch Naturkräfte unmittelbar entstehn. Rechnet man den Durchmesser des hohlen Wassercylinders der gröfsten Fontainen auf etwa 8 Zoll und die Wasserdicke auf einen halben bis einen ganzen Zoll, beides hoch angenommen, so gewährt ein solcher Strahl bei 80 bis 100 Fufs Höhe allerdings einen prachtvollen Anblick, mufs aber in der Vorstellung ausnehmend winzig erscheinen, wenn man ihn mit den Strahlen der Geiser vergleicht, die nicht hohl, sondern massiv, bei einem Durchmesser von 8 bis 10 Fufs eine Höhe von 90 bis 150, ja, die höchsten Tropfen gerechnet, sogar bis 200 Fufs erreichen.

Die Feuerspritzen, die man füglich mit zu den Fontainen zählen kann, sind *Stofsspritzen*, wenn der Ausgufsstrahl nur so lange anhält, als der Stofs des Embolus gegen das im Stiefel befindliche Wasser fortdauert. Hierin liegt ein grofses Hindernifs der Bewegung, weil die ganze zu bewegende Masse bei jedem Wechsel wieder zur Ruhe kommt und ihre Trägheit daher jedesmal aufs Neue überwunden werden mufs. Bei den gröfsern Spitzen bringt man daher Windkessel an, in denen die Luft zusammengedrückt wird, die dann nach dem Mariotte'schen Gesetze während des Rückganges der Kolben gegen das aufspringende Wasser einen gleichen Druck ausübt, als

Digitized by Google

womit sie selbst zusammengedrückt ist, wodurch also eine ununterbrochene Dauer des Strahls erhalten wird. Von der Construction der *Windkessel*[1] ist bereits gehandelt worden, das Technische im Bau der Feuerspritzen im Einzelnen zu verhandeln liegt aber zu sehr aufser den Grenzen dieses Werkes und ich verweise deswegen auf die genannten Werke von v. Gerstner und v. Langsdorf, nebst der Monographie über diese Maschinen von Karsten.

Der Theorie nach scheint es ganz gleich zu seyn, ob der Druck eines Embolus oder einer Wassersäule oder der comprimirten Luft, alle drei von gleicher Stärke angenommen, den aufspringenden Strahl in die Höhe treibt, einige Vergleichungen im Kleinen scheinen jedoch auf einen geringen Vorzug der letzern Kraft zu deuten. Namentlich scheint mir dieses Resultat hervorzugehn, wenn man die Sprunghöhen beim Springheber mit denen beim Heronsbrunnen vergleicht. Da indefs die Thatsache, soviel ich weifs, noch nicht eigentlich begründet ist, so scheint es mir zu voreilig, Gründe zur Erklärung aufzusuchen.

Unter die Springbrunnen oder wohl richtiger die Apparate mit aufspringendem Wasserstrahle gehört auch der *Springheber* und der *unterbrochene Heber*, welche beide durch den Druck einer herabsinkenden Wassersäule einen aufspringenden Strahl erzeugen, mithin das hydrodynamische Princip in seiner einfachsten Anwendung zeigen. Unter die letztere Vorrichtung ist auch die von Comiers[2] beschriebene Fontaine zu rechnen, bei der das Wasser in eine gläserne Kugel springt, und ein ähnlicher, schon von Kircher[3] angegebener Springbrunnen. Ueber beide Arten von Apparaten ist bereits gehandelt worden[4]. Einige, mitunter sehr kleine Springbrunnen mit vielfachen Abänderungen beschreibt Heron von Alexandrien[5], noch mehrere Caspar Schott[6]. Die bekanntesten

---

1 S. *Druckpumpe*. Bd. II. S. 634.

2 Wolf Elementa hydraul. Probl. 39.

3 Leupold Theatr. mach. hydraul. T. I. Tab. II. Fig. 4.

4 S. *Heber*. Bd. V. S. 126.

5 *Πνευματικῶν* seu Spiritualium Liber, ed. a Commandino. Par. 1575. 4.

6 Mechanica hydraulico-pnevmatica. Herbip. 1657. 4.

sind zuerst der *Heronsball* von vielfach veränderlicher Gestalt. Dem Wesen nach besteht derselbe aus einer gläsernen oder kupfernen Kugel EFB, mit einer bis nahe zum Boden eingesenkten Röhre AD, welche oben hervorsteht, mit einem Hahn und einem engen Ausgufsrohre, aus welchem der Strahl C aufspringt. Will man den Apparat füllen, so wird er zuerst auf der Luftpumpe oder durch eine kleine Handpumpe exantlirt, oder man erhitzt denselben und treibt die Luft durch die sich aus dem letzten Antheile des darin zurückbleibenden Wassers bildenden Dämpfe aus, senkt dann die Spitze ins Wasser, welches nach dem Oeffnen des Hahns durch den äufsern Luftdruck in den verdünnten Raum getrieben wird. Soll der Apparat eine kleine Fontaine bilden, so wird vermittelst einer Compressionspumpe die Luft darin verdichtet, diese drückt gegen das Wasser und treibt den Strahl in die Höhe. Auch durch Hitze kann das Aufspringen des Strahles bewirkt werden, wenn man die Kugel auf Kohlen legt oder über einer Weingeistlampe erhitzt oder nur auf siedendes Wasser legt, in welchem Falle man eine schwimmende Fontaine erhält. Für kleine Apparate kann ein Medicinglas oder ein sonst geeignetes Gläschen dienen, in welches man eine Glasröhre vermittelst eines Korkes luftdicht hinabsenkt, dann durch die obere Spitze die Luft vermittelst des Mundes verdichtet und einen etliche Fufs hoch springenden Wasserstrahl erzeugt. Man macht jedoch die Apparate auch beträchlich grofs von Kupfer- oder Messingblech hart gelöthet, wobei es nicht nöthig ist, dafs sie die Kugelform haben, sondern auch verschiedentlich gestaltet seyn können, am besten so, dafs sie sich als Fontainen hinstellen lassen. Auf das Ausgufsrohr werden dann allerlei Gestalten von Thieren, als Fische, Vögel oder sonstig gestaltete Figuren als Zierrathen aufgesteckt, die das Wasser auszuspeien scheinen. Die vielen Apparate dieser Art, die keinen wesentlichen und neuen Satz beweisen, sind sehr aufser Gebrauch gekommen. Fig. 868.

Der *Heronsbrunnen*, eine der sinnreichst construirten hydraulischen Maschinen, schon fast 200 Jahre vor der christlichen Zeitrechnung erfunden, beruht nach Hachette[1] im Allgemeinen auf dem Principe, die Bewegung irgend einer Flüssigkeit

1 Traité élém. des Machines. 4me éd. Par. 1828. 4. p. 145.

A auf irgend eine andere B durch Hülfe einer elastischen oder unelastischen Flüssigkeit zu übertragen. Soll das Phänomen versinnlicht werden, so eignet sich dazu am besten ein Apparat aus zwei Glaskugeln, die mit ihren etwas langen Hälsen vermittelst einer messingnen Fassung bei M zusammengeschraubt werden. Die obere Glaskugel AB hat oben einen Behälter CD nach Art einer Schüssel, die untere EF dagegen ruht auf einem Fufse GH, und das Ganze ist so eingerichtet, dafs der Apparat sowohl recht, als auch umgekehrt aufgestellt werden kann, wobei im letztern Falle die obere Schüssel als Fufsgestell dient. Der Kürze wegen denke man sich die obere Kugel mit Wasser, die untere mit Luft gefüllt. Wird dann in das obere Gefäfs etwas Wasser gegossen, so sinkt dieses durch die nahe über dem Boden der untern Kugel mündende Röhre $\alpha\beta$ herab, das sich sammelnde Wasser verschliefst die Mündung dieser Röhre, die Luft in dieser Kugel wird durch das allmälig in ihr aufsteigende Wasser comprimirt mit einer Kraft, die dem Drucke der in der genannten Röhre herabfliefsenden Wassersäule proportional ist, sie entweicht daher durch die Röhre $\gamma\delta$, die im obern Theile der untern Kugel anfängt und unter dem obersten Theile im Innern der obern Kugel endigt. Hier sammelt sich also die comprimirte Luft, drückt mit ihrer ganzen Kraft auf die unter ihr befindliche Wasserfläche, und dieser Druck macht einen Wasserstrahl aus der Röhre $\varepsilon\varrho$ aufspringen, deren unteres Ende bis auf den Boden der obern Kugel herabgeht, deren oberes Ende aber mit einem geeigneten Ausgufsröhrchen versehn ist. Der aufspringende Strahl fällt wieder in die Schüssel CD herab, fliefst durch die Röhre $\alpha\beta$ in die untere Kugel, ersetzt dadurch die entweichende Luft um einen gleichen Theil und man sieht also, dafs der Heronsbrunnen blofs durch etwas Wasser anfangs zum Springen gebracht werden mufs, um dann bis zur Ausleerung der obern Kugel und der gleichzeitigen Erfüllung der untern Kugel fortzuspringen oder bis das Wasser aus der obern Kugel in die untere gelangt ist; zugleich aber ergiebt sich, dafs die Sprunghöhe im Anfange am gröfsten ist, dann aber gleichmäfsig bis zum Minimum abnimmt, da sie durch die Höhe der Wassersäule in der Röhre $\alpha\beta$ und den Unterschied der Wasserhöhen in der untern und obern Kugel bedingt wird. Hat der Brunnen aufgehört zu springen, so kehrt

Fig. 869.

man ihn um, das Wasser fliefst dann aus der (früher) untern Kugel durch die Röhre $\gamma\delta$ in die obere, aus welcher die Luft durch die Sprungröhre $\varepsilon\varrho$ entweicht, während die untere Kugel durch die Röhre $\alpha\beta$ von aufsen wieder mit Luft gefüllt wird. Die anfängliche Füllung wird also dadurch bewerkstelligt, dafs man Wasser in die Schüssel CD giefst, welches durch die Röhre $\alpha\beta$ in die untere Kugel fliefst, nach deren Anfüllung man den Apparat umkehrt, um ihn zum Springen in Stand zu setzen.

Nach der gewöhnlichen Construction besteht der Heronsbrunnen aus zwei runden oder vierkantigen Gefäfsen, die durch die eben beschriebenen Röhren mit einander verbunden sind und wovon das obere eine Schüssel trägt, um das aufspringende Wasser aufzufangen. Will man denselben schöner haben, so kann man diejenige Gestalt wählen, die Hachette beschreibt, dessen Höhe der Länge des verlangten Wasserstrahls angemessen seyn mufs und wobei die Dauer des Springens und die Dicke des Strahls von der Weite der Gefäfse und des Ausgufsröhrchens abhängt. Zwei Säulen tragen zwischen sich die drei Gefäfse, die mit den Buchstaben C, C′, C″ bezeichnet sind. Die beiden obern Gefäfse C und C″ werden mit der Flüssigkeit (Wasser) gefüllt, im untern ist Luft befindlich; auch sind die beiden Gefäfse C′ und C″ luftdicht, C dagegen ist eine offene Schüssel, der Stopfer A dient aber dazu, das obere Gefäfs zu schliefsen. Soll die Maschine springen, so öffnet man den Hahn Z, das Wasser sinkt durch das Rohr B D D′ herab, läuft aus der Mündung D′ in das untere Gefäfs, comprimirt die Luft und treibt diese durch die Röhre C′EH in das obere Gefäfs. Wird dann der Hahn des Rohrs K K′ geöffnet, so mufs das Wasser aus dem obern Gefäfse im Strahle L mit einer Kraft aufspringen, die der Höhe der drückenden Wassersäule proportional ist, und dieses dauert mit allmälig abnehmender Stärke bis zur Entleerung des obern Gefäfses fort, worauf das Wasser nach dem Oeffnen des Stopfers X aus dem Rohre V X ausläuft. Für ein abermaliges Springen mufs die Maschine aufs Neue gefüllt werden. Fig. 370.

Auf welche Weise Höll dieses nämliche Princip angewandt hat, um das Wasser aus den Schachten zu Chemnitz zu fördern, ist bereits erwähnt worden[1], es ist aber auch bei andern

1 S. *Pumpe*. Bd. VII. S. 976. Vergl. Delius Anleitung zu d.

Vorrichtungen zur Anwendung gebracht worden, wo dasselbe so leicht erkannt wird, dafs die Sache keine weitere Erläuterung bedarf. Vorzüglich zweckmäfsig ist dieses geschehn bei den Lampen von Girard und Virth, die oben beschrieben worden sind [1].

Man findet zuweilen in den physikalischen Cabinetten und auch sonst wohl als Spielerei angewandt zwei Apparate, die gleichfalls unter die Springbrunnen gehören und daher hier kurz genannt werden mögen, obgleich sie den Reiz der Neuheit verloren haben und neben den vielen interessantern nicht weiter beachtet zu werden pflegen. Der eine besteht aus zwei über einander befindlichen, überall verschlossenen Gefäfsen von Blech, das untere CDEF beträchtlich gröfser, das obere ACDB mit einem Sprungrohre KL versehn, welches unten bis fast auf den Boden herabreicht. Wird das untere Gefäfs erhitzt, so steigt die ausgedehnte Luft durch die Röhre HG in das obere, drückt gegen das vorher eingefüllte Wasser und erzeugt so einen kleinen Springbrunnen. Wolf [2] giebt auch eine Construction an, wonach, wie beim Heronsbrunnen, zwei Gefäfse durch Röhren mit einander verbunden sind und das Wasser aus dem untern aufspringt, wenn die Luft im obern durch Lichter erwärmt wird. Man giebt diesem Apparate meistens die Gestalt eines Tempels, so dafs der Boden und die Kuppel die beiden Gefäfse bilden, in einer der Säulen aber die Röhre herabgeht, welche die erhitzte Luft zuführt. Der zweite Apparat, welcher dazu dient, eine Feuerfontaine zu bilden, ist nur selten von Blech, meistens von Glas, und liefert dann allerdings, namentlich wenn er etwas gröfser ist, ein sehr schönes Schauspiel, kann aber leicht wegen des Zerspringens gefährlich werden und wird jetzt selten noch in den Cabinetten gefunden. Die Zeichnung giebt die Construction deutlich an. Auf einem hölzernen oder metallenen Fufse ist eine Kugel, die man vorher mit (rothgefärbtem) Weingeist gefüllt und dann verkorkt hat, umgekehrt mit ih-

Fig. 371.

Fig. 372.

Bergbaukunst. Wien 1773. 4. S. 389. Meister in Nov. Comm. Gotting. T. IV. p. 169.

1 S. *Lampe*. Bd. VI. S. 43. Vergl. Hachette a. a. O. S. 147, wo sich eine schöne Zeichnung der Girard'schen Lampen befindet.

2 Elementa hydraul. Probl. 35.

Digitized by Google

rem verlängerten Halse aufgesteckt. Aus der Mitte des Halses gehn die beiden aufwärts gebogenen, an den Enden in Spitzen ausgezogenen Röhren hervor. Für gewöhnlich hindert der Luftdruck das Ausfliefsen des Weingeistes, zündet man aber die aus den Spitzen dringenden Tropfen an, so wird die Kugel erhitzt, es bilden sich Dämpfe, die den Weingeist aufspringen machen, welcher brennend die Kugel noch stärker erhitzt, so dafs zwei ansehnlich hoch springende, brennende Weingeiststrahlen zwei eigentliche Feuerfontainen geben.

M.

Sprödigkeit.

Fragilitas; Aigreur; *Brittleness.*

So heifst diejenige Eigenschaft der festen oder starren Körper, vermöge deren ihre Theile nicht in eine veränderte Lage gebracht werden können, ohne sich zu trennen. Sie setzt also Härte, wenn gleich einen verschiedenen Grad derselben, voraus und ist demnach mit der Weichheit, noch mehr aber mit der Flüssigkeit der Körper unverträglich, steht aber der Elasticität insofern entgegen, als beide im umgekehrten Verhältnisse sich verhalten, indem ein Körper um so viel elastischer erscheint, je weniger er spröde ist. Deswegen mufsten die Erscheinungen der Sprödigkeit zugleich mit denen der *Elasticität* erörtert werden[1], als Resultat der Untersuchung ergab sich jedoch, dafs beide relative Eigenschaften durch die Art der Aggregation der elementaren Bestandtheile der Körper bedingt sind, worüber weder Erfahrung noch Theorie bis jetzt genügende Auskunft gegeben haben. Wichtig in dieser Beziehung ist, dafs die Wärme unmittelbar so viel zur Verminderung der Sprödigkeit beiträgt, wie sich, aufser der bekannten Erzeugung grofser Dehnbarkeit durch Erwärmung beim Zink, namentlich am auffallendsten beim Stahl und Eisen zeigt. Parry[2] fand, dafs bei den hohen Kältegraden auf Melleville-Island die Nägel beim Einschlagen zerbrachen und die Zim-

1 S. *Elasticität.* Bd. III. S. 171.

2 Appendix to Captain Parry's Second Voyage cet. Lond. 1825. 4. p. 248.

mermannswerkzeuge unbrauchbar wurden, weil sie zersprangen oder eine stumpfe Schneide erhielten. Ebendieses zeigt sich beim Glase, welches tief erkältet durch Erwärmung schnell zerspringt, bei einer mittlern oder noch besser etwas höhern Temperatur von etwa 30° C. aber leicht höhere Hitzegrade aushält, selbst wenn die Wärme schneller zugeführt wird. Diesem gemäfs wurde die Behauptung aufgestellt[1], das Glas verliere seine Sprödigkeit, wenn man dasselbe in kaltes Wasser lege, mit diesem allmälig bis zum Siedepuncte erhitze, dann einige Zeit in dem siedenden Wasser erhalte und langsam abkühlen lasse. Hierdurch sollte dasselbe die Eigenschaft annehmen, selbst beim plötzlichen Eingiefsen von siedendem Wasser nicht zu zerspringen. Brewster[2] wiederholte diese Versuche, fand aber nach optischen Proben, dafs hierdurch die angegebene Veränderung des Glases nicht erzeugt werde, was auch durch andere später bestätigt worden ist. Obgleich hiernach dieses nützliche Verfahren, dem Glase die für viele Zwecke so ersprieſsliche Dehnbarkeit zu ertheilen, seitdem aufgegeben wurde, so ist dasselbe doch nicht ohne allen Nutzen und wird allezeit mit Vortheil bei Porzellan und irdenem Geschirre angewandt, auch behauptet Pleischl[3], dafs einiger, wenngleich kein so bedeutender Einfluſs dieses Verfahrens auf die Verminderung der Sprödigkeit des Glases nicht in Abrede zu stellen sey[4]. Weil aufserdem die bekannten *Glasthränen* ihre aufserordentliche Sprödigkeit verlieren, wenn sie zur Glühhitze gebracht und allmälig abgekühlt werden, so

---

1 Ann. Chim. et Phys. T. IX. p. 422. Vergl. Phil. Trans. 1816. und die Versuche von Pleischl in Schweigg. Journ. Th. XXXI. S. 168.

2 Edinb. Phil. Journ. No. IV. p. 399.

3 G. LXVIII. 427.

4 Pleischl prüfte gleich anfangs die Richtigkeit der Behauptung und fand sie bestätigt; man hat aber seit Brewster's Widerspruche die günstigen Resultate seiner Versuche nicht weiter beachtet. Man mufs jedoch berücksichtigen, dafs Brewster mit schnell oder gar nicht gekühltem Glase experimentirte, welches seine Sprödigkeit durch das angegebene Verfahren nicht verliert, bei den Versuchen von Pleischl blieb aber das Glas nicht lange genug in der kaltmachenden Mischung, um die gröfste Sprödigkeit zu erhalten, denn die letzten Antheile der Wärme verlassen die Körper nur langsam.

Digitized by Google

zeigt sich hierin deutlich, dafs Erhitzung und langsame Abkühlung den Elementartheilen erlaubt, eine solche Lage anzunehmen, vermöge deren sie minder leicht über die Grenze ihrer Cohäsion hinausgerückt werden, mithin auch weniger spröde sind. Uebereinstimmend hiermit ist die Erfahrung, dafs ältere, lange gebrauchte Gläser den Wechsel der Temperatur leichter aushalten, als neue, wie man namentlich daraus ersieht, dafs in Triest und den meisten italienischen Städten der Caffee ohne Nachtheil heifs, zuweilen bis zum Sieden, in gewöhnliche Trinkgläser geschenkt wird. Der Einfluſs des oftmals wechselnden langsamen Erwärmens bis zu einer bedeutend höhern Temperatur und des allmäligen Erkaltens ist mir vorzüglich auffallend geworden, als ich einen etwa 0,2 Lin. dicken Platindraht oben in eine Glasröhre einschmelzen liefs, so dafs die umgebende, vom Drahte durchsetzte Glasdicke fast 0,75 Lin. betrug. Diesen mit Quecksilber gefüllten Apparat liefs ich einen ganzen Winter auf dem eisernen Halse eines täglich geheizten Stubenofens liegen und kochte ihn dann so aus, dafs das Quecksilber gegen 45 Minuten im Sieden blieb, ohne dafs er bis jetzt nach 12 Jahren beim gewöhnlichen Wechsel der Temperatur zersprungen ist.

M.

Sprungkegel.

Cône hydraulique nennt PARROT[1] einen hydraulischen Apparat, welcher ausnehmend dazu geeignet ist, diejenigen Schwankungen der tropfbaren Flüssigkeiten anschaulich zu machen, die zuerst von DAN. BERNOULLI[2] beachtet und lange nachher im *Stofsheber* zur nützlichen praktischen Anwendung gebracht worden sind. Die Erscheinungen selbst und die sie bedingenden Ursachen sind nach meiner Ansicht folgende, wobei ich nicht glaube, dafs es nöthig ist, mit dem Erfinder die Elasticität des Wassers zu berücksichtigen, obgleich diese allerdings statt findet und auch bei diesen Phänomenen inso-

1 Grundrifs der theoretischen Physik. Th. I. S. 393. Entretiens sur la Physique. T. II. p. 142.

2 Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum. Argent. 1738. p. 184.

fern mitwirkend seyn mufs, als vermuthlich bei absolut harten Körpern solche Bewegungen überhaupt nicht existiren könnten, als welche sich beim Sprungkegel zeigen.

Fig. 373. Wenn eine gleich weite Glasröhre bogenförmig so gekrümmt wird, dafs die beiden Schenkel A und B von $\varepsilon\varrho$ an vertical in die Höhe stehn, und man diese zum Theil mit Wasser füllt, so steht dieses bekanntlich in beiden Schenkeln gleich hoch. Es sey diese Höhe im Zustande der Ruhe bis $\gamma\delta$. Man hebe dann durch Saugen das Wasser in dem einen Schenkel bis α, verschliefse den Schenkel A mit dem Finger, bis der Zustand der Ruhe wieder hergestellt ist, und es wird dann das Wasser im Schenkel A bis α und im Schenkel B bis ϱ stehn. Hält man die Röhre unbeweglich, hebt dann den Finger schnell auf, so sinkt das Wasser von α tiefer als bis γ und steigt höher als bis δ, erreicht aber weder die Tiefe ε noch die Höhe β, wie der Theorie nach seyn müfste, wenn man erwägt, dafs es von α bis ϱ oder bis ε fällt und also von ϱ bis β steigen müfste. Bekanntlich ist die Verminderung dieses Effectes eine Folge der Hindernisse bei der Bewegung[1]. Dafs das Wasser in beiden Schenkeln abwechselnd pendelartig oscillirt und dafs diese Oscillationen isochronisch sind, auch zur Erläuterung der Wellenbewegungen dienen, kann hier als bekannt angenommen werden. Sind beide Schenkel von ungleicher Weite, so wird das Wasser in dem engern Schenkel allezeit höher als im weitern gehoben werden, welches damit zusammenhängt, dafs das Gleichgewicht der Flüssigkeiten in ungleich weiten communicirenden Röhren auf das mechanische Princip zurückgebracht werden kann, wonach die Producte aus dem Wasser in die Fallhöhen in beiden Schenkeln einander gleich seyn müssen.

Wenn schon hieraus hervorgeht, dafs das Wasser durch seine eigne Bewegung über sein Niveau gehoben werden könne, so folgt dieses noch augenfälliger aus folgendem ähnlichen Versuche. Es werde in ein Gefäfs mit Wasser, dessen Spiegel bis a b reicht, eine an beiden Enden offene, oben mit dem Finger verschlossene Glasröhre herabgesenkt. Die eingeschlossene Luft wird das Eindringen des Wassers hindern, doch wird sie um einen der äufsern drückenden Wasserhöhe

Fig. 374.

1 Vergl. *Springbrunnen.*

Digitized by Google

proportionalen Theil zusammengedrückt, und wir wollen also annehmen, dafs der Wasserspiegel in der Röhre bei $\alpha\beta$ sey. Oeffnet man schnell die Finger, so steigt das Wasser bis über γ, aber es gelangt nicht bis $\varepsilon\varrho$, angenommen dafs $\alpha\gamma = \gamma\varepsilon$ sey, sondern es bleibt um einen gewissen aliquoten Theil unter dieser Höhe zurück; ist jedoch die Röhre konisch und das engere Ende nach oben gerichtet, so steigt es über die durch $\varepsilon\varrho$ bezeichnete Höhe auf, im umgekehrten Falle bleibt es weit unter dieser und erhebt sich nur wenig über $\gamma\delta$.

Dieser Versuch ist der nämliche, als der vorher erwähnte, führt aber unmittelbar zu den Erscheinungen der Sprungkegel. Senkt man nämlich die Röhre so in das Wasser, dafs ihre obere Oeffnung im Wasserspiegel ab sich befindet, und öffnet sie dann schnell, so fährt das Wasser aus ihr bis ungefähr zu derjenigen Höhe heraus, welche es in der verlängerten Röhre erreicht haben würde. Um daher die Erscheinungen des Sprungkegels zu erhalten, darf man nur irgend einen gewöhnlichen Trichter, mit der breiten Oeffnung nach unten gerichtet, die engere oben mit einem Finger verschlossen, vertical in ein Gefäfs mit Wasser tauchen, dann den Finger plötzlich wegziehen, so wird das Wasser aus der, nur wenig oder gar nicht über das Niveau des Gefäfses hervorragenden, Trichter-Oeffnung um so viel höher emporschiefsen, je höher der Trichter und je geeigneter seine Gestalt für diesen Versuch ist; wobei als Nebenbedingung noch bemerkt werden kann, dafs ein festes Halten des Trichters für das Gelingen des Versuches förderlich ist. Die gewöhnliche Gestalt der Trichter ist für diesen Zweck nicht die geeignetste. Meistens sind diese nämlich zuerst stark konisch und endigen dann in eine minder konische, nicht selten in cylindrischer Gestalt sich verlängernde Röhre, in welchem Falle das letztere Ende zur Vermehrung der Höhe nichts weiter beiträgt und ein um diesen Theil kürzerer Trichter fast die gleiche Sprunghöhe giebt, als welche man mit dem beschriebenen erhält; ungleich vortheilhafter dagegen ist es, wenn der Trichter anfangs weniger, zuletzt aber mehr konisch gestaltet ist.

Die drei wesentlichsten Gestalten der Apparate, womit sich die hierher gehörigen Erscheinungen anschaulich machen lassen, hat Parrot bereits angegeben. Der erste ist entweder ein gewöhnlicher, durchaus konischer Trichter, oder ein Fig. 875.

Digitized by Google

solcher, welcher nach Angabe der Zeichnung oben am stärksten konisch zuläuft. Es ist übrigens aus leicht begreiflichen Gründen keineswegs erforderlich, dafs das obere Ende genau konisch sey, als ob der Durchmesser der aufsteigenden Wassermasse stets gleichmäfsig verringert werden müfste, vielmehr genügt jede anderweitige konoidische Gestalt. Dieses ergiebt sich am besten daraus, dafs ein Cylinder oder besser ein abgekürzter Kegel, dessen beide Flächen an Gröfse nicht sehr
Fig. 376. verschieden sind, oben mit einer Platte bedeckt, in deren Mitte sich die geeignete Oeffnung befindet, die Erscheinung gleichfalls zeigt. Dafs übrigens durch die konoidische Gestalt des obern Theiles dieses Apparates die Wirkung verstärkt werde, geht aus den Resultaten hervor, die Parrot aus seinen Versuchen erhalten hat. Hiernach giebt eine 12 Z. lange und 2,5 Z. weite cylindrische Röhre, deren Platte eine Oeffnung von 6 Linien hat, ganz ins Wasser getaucht eine Sprunghöhe von 9 Fufs, ein abgekürzter Kegel aber von 2,5 Z. und 6 Linien Durchmesser der beiden Oeffnungen bei 12 Z. Höhe gleichfalls nur 9 Fufs, ein oben konoidisch gestalteter Kegel dagegen von gleicher Höhe und 2,5 Z. unterer und 6 Lin. oberer Oeffnung, wie die Zeichnung ihn darstellt, giebt einen Strahl von etwa 15 Fufs Höhe. Eine sinn-
Fig. 377. reich ausgedachte Abänderung dieses Apparats endlich erhält man, wenn man einen oben verschlossenen Sprungkegel mit einer kurzen Ansatzröhre versieht, die mit dem Horizonte einen Winkel von 45° bildet. Bei übrigens gleichen Dimensionen und 5 Lin. Weite des Ausgufsröhrchens erreichen die äufsersten Tropfen des schrägen Strahles eine Weite von 13 Fufs, welches einer verticalen Fallhöhe von 6,5 Fufs zugehört.

Geht man bei der Erklärung dieser Phänomene zuerst von der eingesenkten cylindrischen Röhre aus, so wird der im untern Theile derselben befindliche verschwindend dünne Wassercylinder durch die umgebenden Wassersäulen mit einer ihrer Höhe proportionalen Kraft gedrückt oder mit einer solchen, die ihm eine der doppelten Fallhöhe zugehörige Geschwindigkeit ertheilen würde; denn die Fallgeschwindigkeit in einer Secunde ist $c = 2\sqrt{gh}$, wenn g den Fallraum in einer Secunde und h die Fallhöhe bezeichnet. Finge er mit dieser Geschwindigkeit an negativ zu fallen, d. h. aufzustei-

Digitized by Google

gen, so würde diese stets abnehmen und dieses Element also nur die einfache Höhe, d. h. die bis zum Wasserspiegel, erreichen. Allein mit ebendieser Kraft wird auch jedes folgende Element gedrückt, also auch dasjenige, welches sich im untern Ende der Röhre befindet, wenn das erste bereits im Niveau des Wassers angelangt ist, und soll dieses daher gleichfalls bis zu dieser Höhe gelangen, so mufs das erstere die doppelte Höhe erreichen, wodurch dann aber die Druckkraft der umgebenden Wassersäulen erschöpft ist. Dafs diese Höhe wegen der Hindernisse der Bewegung nicht erreicht werden könne, versteht sich von selbst, weswegen auch die Wassersäule in einer 12 Z. tief eingetauchten Röhre nur etwa bis 9 Zoll hoch ansteigt oder bis zu 0,75 der eigentlichen Steighöhe gelangt.

Tritt an die Stelle der cylindrischen Röhre ein Kegel oder ein oben bedeckter Cylinder mit einer oben engern Oeffnung, so mufs die Sprunghöhe zunehmen, weil die gröfsere Wassermasse ihr Bewegungsmoment der fortgestofsenen Quantität mittheilt. Ob und wie weit der hierdurch erzeugte Effect mit Rücksicht auf die aus der Adhäsion des Wassers und dem Stofse der einzelnen Säulen desselben gegen die Wandungen des Deckels entstehenden Hindernisse theoretisch bestimmt werden könne, ist bis jetzt, so viel ich weifs, noch nicht untersucht worden. Wollte man annehmen, dafs die Höhen sich wie die Wassermassen verhielten, so erhielte man, vorausgesetzt dafs die Steighöhe in einer cylindrischen Röhre der Fallhöhe gleich ist, für einen oben bedeckten Cylinder von 12 Z. Höhe und 2,5 Zoll Weite bei einer Oeffnung von 6 Lin. in der obern Platte die Proportion

$$30^2 : 6^2 = x : 144,$$

weil die Wassermassen im Apparate und im aufsteigenden Strahle, beide als Cylinder gedacht, sich wie die Quadrate der Durchmesser verhalten, woraus x oder die Sprunghöhe = 3600 Linien oder 25 Fufs gefunden wird, statt dafs die Erfahrung für den günstigsten Fall 15 Fufs giebt[1].

Es giebt der Erscheinungen sehr viele, die sich auf das

---

1 Ueber die Hindernisse dieser Bewegung, wodurch die theoretische Sprunghöhe bedeutend verringert werden mufs, findet man die gehörigen Nachweisungen im Art. *Springbrunnen*.

Digitized by Google

durch diese Apparate versinnlichte Gesetz zurückführen lassen. Dahin gehören die sogenannten *Stiches* im Genfersee und in andern Seen[1], in denen vermöge der erzeugten Oscillationen das Wasser an denjenigen Stellen die grölste Höhe erreicht, wo die Ufer einander am nächsten sind, und vermuthlich bewirken ähnliche Ursachen die zuweilen so ungewöhnlich hohen Anschwellungen der Newa durch eindringendes Seewasser, auch scheint das mit den Namen *Mascaret*, *Rastern*[2] u. s. w. bezeichnete Phänomen zum Theil auf dieser Ursache zu beruhn. Nicht minder wird hieraus die gröfsere Wasserhöhe bei der Fluth in den Strommündungen und eingeschlossenen, sich zunehmend verengenden Buchten erklärlich. Am auffallendsten und den Erscheinungen des Sprungkegels am vollkommensten gleichend ist das Emporspritzen des Wassers dann, wenn die grofsen Massen des Meeres gegen Felsenschluchten getrieben werden; so spritzte unter andern einst beim heftigen Wallen des Meeres das Wasser bis an die Laterne des Leuchtthurmes zu Sumburghead, welcher 300 Fufs über dem mittlern Wasserspiegel erhaben ist[3]. Als einen natürlichen Sprungkegel, obgleich durch Kunst entstanden, darf man ferner die Fontaine betrachten, die an der Küste auf Gozzo entstand, als dort ein Bohrloch durch die Felsen bis zum Meere herabgesenkt war, um das Wasser hierdurch zum Behuf der Salzbereitung in die Höhe zu fördern. Bei unruhiger See entstand hierdurch eine 60 Fufs hohe prachtvolle, aber der bebauten Umgegend höchst nachtheilige Fontaine und das Bohrloch konnte durch wiederholte Versuche mit Steinen nicht dauerhaft verstopft werden, weil die untern Steine herabgespült wurden und dann die zusammengepreſste Luft ein lautes unterirdisches Getöse erzeugte, bis das Bohrloch sich durch die Gewalt des Wassers wieder geöffnet hatte[4].

M.

Statik s. Mechanik.

---

1 Vergl. *See.*
2 Vergl. *Strom.*
3 Froriep Notizen 1826. Nr. 12.
4 Poggendorff Ann. XXXIII. 349.

Digitized by Google

Sternbilder.

Asterismi, Constellationes; Astérismes, Constellations; *Constellations, Asterisms.*

Gruppen von Fixsternen, die man nach ihrer mehr oder minder ähnlichen Begrenzung mit Menschen, Thieren und andern Gegenständen verglichen und ihnen die Namen dieser Gegenstände beigelegt hat, wahrscheinlich zuerst aus dem Grunde, um dadurch die Kenntnifs und Uebersicht des gestirnten Himmels zu erleichtern, obschon man später, wo die lebhafte Phantasie der Morgenländer mit ihnen ihr Spiel trieb, auch mythologische und astrologische Ideen damit in Verbindung gebracht hat. Hipparch und nach ihm Ptolemäus nannte sie *Asterismen*, ἀστερίσμους, Aristoteles und seine Anhänger σώματα, Körper, wieder andere σχήματα, Figuren u. dgl. In unsern Tagen ist in der deutschen Sprache die Benennung *Sternbild* und in beinahe allen neuern europäischen Sprachen das gleichbedeutende Wort *Constellation* allgemein angenommen.

1) Alter der Sternbilder.

Es ist nicht zu bezweifeln, dafs viele der noch jetzt gebräuchlichen Benennungen der einzelnen Sternbilder sehr alt sind. Homer, der gegen das Jahr 900 vor Chr. Geb. gelebt hat, erwähnt im 5ten Buche der Odyssee die Pleiaden und Hyaden, den Orion, Bootes und den grofsen Bären, von welchem letztern er sagt: *der Bär, den andere auch den Wagen nennen*, und beide Benennungen dieses Sternbildes sind auch jetzt noch gebräuchlich. Er erzählt ferner[1], dafs Ulysses sich dieser Gestirne zur Leitung seines Schiffes bediente. Auch Hesiodus, der nahe um dieselbe Zeit mit Homer gelebt haben soll, erwähnt die Pleiaden, den Arktur, Sirius, Orion u. s. w., deren Auf- und Untergang mit der Sonne er als Mittel zum Geschäfte des Ackerbaues vorschlägt, zum Zeichen, dafs diese Sternbilder damals schon allgemein bekannt seyn mufsten. Auch in den Büchern des alten Testa-

1 Odyss. Lib. V. v. 272.

Digitized by Google

ments, wie im Hiob, Jesaias, Amos, will man die Namen Orion's und die der Pleiaden und Hyaden gefunden haben. Aber Pallu[1] suchte zu zeigen, dafs für die so gedeuteten hebräischen Namen erst die 70 Dolmetscher, die gegen das Jahr 280 vor Chr. Geb. zu Alexandrien die Bibel übersetzten, diese neuern und früher unbekannten Benennungen eingeführt haben. Das *Aisch*, wovon das Buch Hiob im 9. und 38. Cap. spricht, übersetzt Goguet durch grofser Bär und Hyde durch Ziege; Dupuis aber beweist mit vieler verschwendeten Gelehrsamkeit, dafs es das Αἴξ der Griechen war, und die Vulgata endlich übersetzt dasselbe Wort einmal durch Abendstern und das andere Mal durch Arktur. Ebenso ungewifs ist das Wort *Kimah* der Bibel, das bald die Pleiaden, bald die Hyaden und bald wieder den Bootes oder auch Orion bedeuten soll. Goguet gab sich viel Mühe, den wahren Ursprung der ältesten Benennungen bei den Americanern (!) zu finden, wo die ersten, diesen Welttheil betretenden Europäer unter andern auch einige Benennungen von Sternbildern vorgefunden haben, welche von den Einwohnern des Landes für sehr alt ausgegeben wurden. Die vorherrschende Meinung war lange, dafs wir diese Namen entweder den Chaldäern, wie La Pluche will, oder den Aegyptiern, wie Dupuis behauptet, verdanken. Allein die nähere Bekanntschaft, welche wir besonders durch die Engländer mit den Antiquitäten Indiens erhalten haben, läfst uns kaum zweifeln, dafs die Bewohner dieses Landes jene Kenntnisse wenigstens ebenso früh schon besessen haben und die Chinesen vielleicht früher als alle andere, wenn wir den Nachrichten des de Guignes und andern seiner Brüder glauben dürfen, die sich lange in China aufgehalten haben.

2) Bedeutung der Sternbilder.

Wie es auch mit dem Alter dieser Erfindungen, das wir wahrscheinlich nie mit Genauigkeit erforschen werden, beschaffen seyn mag, so scheint doch das gewifs, dafs diese Benennungen in einem engern Zusammenhange mit dem Zustande des Himmels, zur Zeit ihrer Aufnahme, gewesen sind. Macrobius, der im 4ten Jahrhunderte nach Chr. Geburt lebte,

1 Mémoires de Trevoux. 1737.

Digitized by Google

scheint zuerst diese Meinung aufgestellt zu haben, die dann später immer weiter ausgebildet und auch wohl unter der Leitung der Imagination zu weit fortgeführt worden ist. Er behauptet, dafs das Sternbild des Krebses und das des Steinbocks diese Namen erhalten haben, weil die Sonne, wenn sie in jenem Sternbilde am höchsten über dem Aequator ist, gleich einem Krebse wieder zum Aequator zurückkehrt und weil sie von den Sternen der zweiten Constellation gleich dem Steinbocke, wenn er die Spitzen der Felsen sucht, wieder zum Aequator aufwärts steigt. Diese Idee sucht La Pluche auf alle andern Sternbilder fortzuführen [1]. Nach ihm wurde der *Widder* in den Anfang des Frühlings gestellt, weil zu dieser Zeit die Schafe ihre Jungen werfen; der *Stier* kam in den zweiten Monat, um die Fruchtbarkeit der Kühe anzuzeigen; ebenso soll der *Löwe* mit der gröfsten Sonnenhitze des Jahrs, die *Jungfrau* und die Aehre mit der Erntezeit, die *Waage* mit der Gleichheit des Tages und der Nacht im Herbstäquinoctium, der *Scorpion* mit den Krankheiten der Herbstzeit, der *Wassermann* mit der Regenzeit u. s. w. im innigen Zusammenhange stehn. Damit noch nicht zufrieden erklärt Pluche noch aus derselben Quelle die Hieroglyphen der Aegyptier, die Mythologie der Griechen und den gesammten Götzendienst der Alten. La Mire und Nauze suchten ihn mit ebenso vielem Aufwand von Gelehrsamkeit zu widerlegen, aber heut zu Tage ist ihr und ihrer zahlreichen Nachfolger Bemühen der Vergessenheit überlassen, nicht mit Unrecht, da Untersuchungen dieser Art, wie so viele vorhergehende Jahrhunderte gezeigt haben, zu keinem bleibenden Resultate führen und der Natur der Sache nach auch nicht wohl führen können [2]. Diese Zusammenstellungen der Namen jener Sternbilder mit den Erscheinungen am Himmel oder auf der Erde lassen sich, wie Laplace bemerkte, viel besser machen, wenn man die ganze Sache umkehrt und annimmt, dafs zur Zeit der Erfindung jener Namen die Sphäre des Himmels um volle 180 Grade von der gegenwärtigen Lage derselben verschieden war, dafs also der Widder zum Herbstäquinoc-

---

1 In seinen beiden Werken: Histoire du Ciel und Spectacle de la Nature.

2 Vergl. Art. *Thierkreis*.

tium, der Steinbock zum Sommersolstitium, die Waage zur Frühlingsnachtgleiche und der Krebs zum Wintersolstitium gehört. Allein diese Hypothese, so annehmbar man sie auch durch jene Zusammenstellungen machen kann und so sorgfältig sie auch in der That ausgeschmückt worden ist, würde die Zeit der Erfindung jener Benennungen volle 13000 Jahre vor Chr. Geb. setzen, und einer solchen Annahme widerspricht alles, was wir von unserer Menschengeschichte wissen, die kaum 2000 Jahre vor jener Epoche anfängt und die uns über alles Frühere in Dunkelheit und Ungewifsheit läfst.

Freret, der sich viel mit diesem Gegenstande beschäftigte und besonders Newton widerlegen wollte, welcher in seiner Chronologie seine eignen Ideen über die Bedeutung der Sternbilder aufgestellt hatte, Freret[1] also glaubte, dafs die Aegyptier mit den Thiernamen, womit sie die Sternbilder belegten, nach ihrer althergebrachten Weise nur die vorzüglichsten Gottheiten ihres Landes darstellen wollten, *Osiris*, *Horus*, *Isis*, *Anubis* u. s. w. Diese Meinung suchte Sam. Schmidt in einem umständlichen Werke zu beweisen, allein wenn man die Sache partheilos betrachtet, so sieht man bald, dafs man ebenso viel dafür, als dagegen sagen kann, dafs sie also wohl immer unentschieden bleiben wird. Immerhin haben die Umrisse der meisten Sternbilder nur sehr wenig Aehnlichkeit mit denjenigen Gegenständen, welche sie, ihren Namen zufolge, vorstellen sollen. Es gehört eine sehr lebhafte Einbildungskraft dazu, in den Gestirnen des Pegasus, des Adlers, der Leier, des Bechers, des Altars u. s. w. diese Aehnlichkeit aufzufinden. Wie sind aber erst die äthiopischen Könige und Prinzessinnen zu der Ehre gekommen, die schönsten Stellen des gestirnten Himmels einzunehmen? Die meisten derselben sind in der Geschichte ganz unbekannt und man weifs nur eben durch jene Apotheose, dafs sie einmal auch auf der Erde eine Stelle eingenommen haben. Cepheus soll ein König in Aethiopien oder in Indien gewesen seyn, wie der ältere Plinius sagt. Cassiopeia, seine Frau, die den irdischen Thron mit ihm theilte, sitzt auch am Himmel ihrem Gemahle zur Seite; auch Andromeda, seine Tochter, an deren Stelle die Araber sonderbarer Weise einen Seehund setz-

1 Défense de la Chronologie.

Digitized by Google

ten, ist, wenn gleich in Ketten geschlossen, der Familie beigegeben. Nicht weit von dieser Gesellschaft findet man Perseus, einen Sohn Jupiters mit der Danae, den der ganze Olymp mit Waffen versah, um der schlafenden Medusa den Kopf abzuhauen. Berenice, die Schwester und Gemahlin des Königs Ptolemäus Evergetes, opferte ihr Haupthaar im Tempel, als ihr Bruder siegreich aus Asien zurückkam, und wurde für diese Grofsthat in den Himmel versetzt; Bootes erhielt dieselbe Ehre, weil er, als er zur Nachtzeit allein nach Hause kehrte, von betrunkenen Hirten zu Tode gesteinigt wurde; die *nördliche Krone* soll ein Emblem derjenigen seyn, welche Ariadne getragen hat, als sie in den Theseus verliebt war; Ophiuchus oder der Schlangenträger soll den Aesculap, den Vater Machaon's, vorstellen, der den kranken Androgenes durch ein von einer Schlange ihm gebrachtes Kraut vom Tode errettet hat; Antinous, ein wegen seiner Schönheit berühmter Knabe, war der Liebling Hadrian's, für welches edle Verdienst er von Hadrian vergöttert und sein Bild unter die Sterne versetzt worden ist. Orion erfreut sich einer noch würdigern Erhebung zu derselben Ehre. Denn als sein Vater Hyrieus den bei ihm zu Gaste sitzenden Jupiter um das Geschenk eines Sohnes gebeten hatte, erfüllte dieser seinen Wunsch *semine in pellem vaccae effuso*, wie Euphorion erzählt, während ihn Plutarch, dem dieser Mythos doch etwas zu grell erscheinen mochte, als einen *ex deorum urina* gebornen Helden aufstellt u. dgl. m.

Man kann es also wohl den Nachfolgern dieser ersten Erfinder der Sternbilder-Namen nicht übel nehmen, wenn sie solche Absurditäten durch angemessenere Bilder zu verdrängen suchten. Nur hätten sie dabei etwas mehr Geschmack und weniger Kriecherei zeigen sollen. So versuchte es ein Astronom des 16ten Jahrhunderts, diese Heroen des Alterthums dadurch vom Himmel zu verdrängen, dafs er die Wappen der sämmtlichen Adligen, zu deren Bekanntschaft er gelangen konnte, an ihre Stelle setzte, und wenn es nach seinem Wunsche gegangen wäre, so würden wir die ganze Heraldik zugleich mit der Astronomie aus den Sternen erlernen. Ein anderer, Julius Schiller in Augsburg, gab im Jahre 1627 ein *Coelum stellatum Christianum ad majorem ecclesiae triumphantis gloriam* heraus, in welchem Werke die

Digitized by Google

Plätze, welche jene äthiopischen Könige so viele Jahrhunderte durch am Himmel behauptet hatten, durch die Heiligen der katholischen Kirche besetzt und zwar in solchem Maſse besetzt wurden, daſs dadurch der ganze Kalender erschöpft und den Nachkommen, wenn sie etwa neue Sternbilder entdecken sollten, nichts mehr hinzuzufügen übrig war.

Spätere Zeiten haben sich diesen Abweichungen nicht hingegeben, sondern meistens die alten und bereits gewohnten Namen in ihrem verjährten Besitze gelassen. Wo aber neue Benennungen zu erfinden waren, suchte man entweder nach der Sitte der Alten wieder Thiere aufzunehmen, wie die Giraffe, den Phönix, die Eidechse u. s. w., oder nützliche Entdeckungen in den Künsten und Wissenschaften zu verewigen, wie durch die *Boussole*, die *Druckerwerkstatt*, die *Luftpumpe*, die *Pendeluhr* u. dgl. Doch fehlte es auch hier nicht an Apotheosen, die zuweilen etwas sonderbar ausfielen, wie der *Poniatowski'sche Stier* zu Ehren des Königs von Polen gleiches Namens, die *Karls-Eiche* zum Andenken des unglücklichen KARL's I. von England, die *Friedrichs-Ehre*, die durch das Schwert und das Scepter FRIEDRICH's II. dargestellt werden sollte, und was dergleichen mehr seyn mag. Es war im verflossenen Jahrhunderte eine Zeit, wo jeder Astronom seinem gnädigen Gönner irgend ein Plätzchen am Himmel verschaffen wollte, wozu er, da die Hauptstellen schon besetzt waren, einen Winkel oder eine Spalte zwischen den alten Sternbildern aufsuchte, um so mit seinem Mäcen von den Resten zu leben, die von den reichen Tischen ihrer Vorgänger gefallen waren. So entstand das von KIRCH eingeführte *Brandenburgische Scepter*, die *Georgsharfe* u. dgl. Die Erfinder dieser neuen Sternbilder hatten wenigstens das für sich anzuführen, daſs sie diese übrig gebliebenen Stellen des Himmels aufgesucht und die darin enthaltenen, meist nur kleinen Sterne selbst beobachtet haben. Aber was soll man von der Bequemlichkeit und Anmaſsung einer bekannten Universität sagen, die dem Kaiser der Franzosen, als er in ihren Mauern ankam, in einer feierlichen Anrede die Nachricht brachte, daſs, ihrem Beschlusse gemäſs, das schönste Sternbild des Himmels nicht mehr, wie bisher seit Jahrtausenden, ORION, sondern NAPOLEON heiſsen solle? Ein Beschluſs dieser Art ist nur mit den Senatus-Consulten der entarteten Römer zu vergleichen,

Digitized

die, um ihrem Nero, Vitellius und Domitian zu gefallen, die allgemein angenommenen Namen der Monate mit denen ihrer Bedrücker belegten, da sie zu träge oder zu ungeschickt waren, ihnen neue und bisher unbekannte Monumente zu errichten.

3) Sternbilder des Thierkreises.

Die *Ekliptik*[1] ist derjenige gröfste Kreis an der Sphäre des Himmels, in welchem uns die Sonne während ihrer jährlichen Bewegung einherzugehn scheint. Parallel mit ihm hat man zwei andere Kreise gezogen, die gegen Nord und Süd zehn Grade von der Ekliptik abstehn, und die Zone, welche zwischen den beiden letzten Kreisen enthalten ist, heifst der *Thierkreis* (*Zodiacus*). Die Alten haben diese Zone ausgedacht, weil die ihnen bekannten Planeten, von der Erde gesehn, immer innerhalb dieser Zone erscheinen. Für die neuern Planeten hat dieses nicht mehr statt, da dieselben oft sehr weit von den äufsersten Grenzen des alten Thierkreises sich entfernen, besonders die *Pallas*, die wegen der grofsen Neigung ihrer Bahn gegen die Ekliptik von der Erde gesehn bis auf funfzig Grade von derselben abstehn kann, so dafs die Breite des neuen Thierkreises gegen 100 Grade betragen müfste, während die des alten nur 20 Grade hat.

Diese bei den Alten in grofsem Ansehn stehende Zone wurde von ihnen in 12 gleiche Theile eingetheilt, deren also jeder 30 Grade der Länge und 20 der Breite umfafste und durch ein eignes Sternbild ausgezeichnet war. Die Namen und Zeichen derselben sind, von West gen Ost gezählt und vom Frühlingspuncte angefangen, Widder ♈, Stier ♉, Zwillinge ♊, Krebs ♋, Löwe ♌, Jungfrau ♍, Waage ♎, Scorpion ♏, Schütze ♐, Steinbock ♑, Wasermann ♒, Fische ♓.

Man hat diese Namen, um die Aufeinanderfolge derselben leichter zu behalten, in verschiedene Verse gebracht. Die ältesten und wohl auch die besten sind die von Manilius, der unter Augustus lebte und dessen Lehrgedicht, *Astronomicon libri V.*, wenigstens zum Theil auf uns gekommen ist. Die hierher gehörende Stelle ist:

---

1 S. *Ekliptik*. Bd. III. S. 163.

Aurato princeps Ariet in vellere fulgens
Respicit admirans aversum surgere Taurum,
Summisso vultu Geminos et fronte vocantem.
Quos sequitur Cancer, Cancrum Leo, Virgo Leonem.
Aequato tum Libra die cum tempore noctis
Attrahit ardenti fulgentem Scorpion astro;
In cujus caudam contentum dirigit arcum
Mixtus equo, volucrem missurus jamque sagittam.
Tum venit angusto Capricornus sidere flexus.
Post hunc inflexam diffundit Aquarius urnam
Piscibus assuetas avide subeuntibus undas,
Quos Aries tangit claudentes ultima signa.

Tief unter diesen, aber angemessener für das Gedächtniß sind die zwei bekannten Verse:

Sunt Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo,
Libraque, Scorpius, Arciteneus, Caper, Amphora,
Pisces.

Diesen zwölf Sternbildern des Thierkreises hat der oben erwähnte Jul. Schiller die 12 Apostel substituirt, so wie er an die Stelle der bald zu beschreibenden nördlichen Sternbilder die Personen des alten und an die der südlichen Sternbilder die Personen des neuen Testaments gestellt hat. In den frühern Jahrhunderten waren diese 12 Zeichen auch in einer andern Beziehung merkwürdig. Durch eine sonderbare Verkehrtheit des menschlichen Geistes, immer in die Zukunft dringen zu wollen, die ihm doch stets verschlossen bleibt, und zu diesem Zwecke Dinge mit einander in Verbindung zu bringen, die nichts als die Thorheit dieser Verbindung selbst mit einander gemein haben, durch diese bei so vielen Menschen oft bis zum Aberwitze gesteigerte Eigenheit ist es ihnen auch gelungen, den Einfluss zu entdecken, welchen die Sonne, der Mond und die Planeten, je nachdem sie sich in den verschiedenen Constellationen des Thierkreises aufhalten, auf das Schicksal nicht nur ganzer Nationen, sondern auch einzelner Individuen haben sollen. Die sonderbarsten Zusammenstellungen der heterogensten Dinge wurden in dieser Beziehung mit einem Ernste vorgebracht und viele Jahrhunderte hindurch mit einem Eifer geglaubt, über den man lachen könnte, wenn diese Verirrungen des menschlichen Geistes nicht zugleich so betrübend wären. Da bereits oben[1] einige

1 Vergl. *Astrologie.* Bd. I. S. 405.

Digitized by Google

über diesen Gegenstand gesprochen worden ist, so wollen wir hier nur dasjenige nachtragen, was die astrologische Bedeutung der Sternbilder betrifft, und sie mit einigen Bemerkungen über diese sogenannte Wissenschaft überhaupt begleiten, die einst eine so grofse Rolle gespielt hat, jetzt aber, wie sie es allerdings verdient, so gänzlich vergessen ist, dafs selbst die meisten Astronomen unserer Tage mit den ersten Elementen derselben unbekannt sind.

Da die Hitze des Sommers, wenigstens in der nördlichen Hemisphäre der Erde, mit der Zeit zusammenfällt, wo die Sonne in das Sternbild des Löwen tritt, so sollten die in dieser Zeit gebornen Menschen alle feurig und tapfer seyn. War zu gleicher Zeit auch der Planet Mars in dem Zeichen des Löwen, so mufste der Mensch ein Wunder von Tapferkeit und entweder ein berühmter Held oder ein berüchtigter Räuber werden, weil dieser Planet, seines röthlichen Lichtes wegen, vor Zeiten den Namen des Kriegsgottes erhalten hatte. Ebenso brachte Saturn, dessen Farbe bleich und dessen Bewegung sehr langsam ist, nur friedliche und phlegmatische Menschen, Venus im Gegentheile lebhafte und verliebte, Jupiter stolze und ehrgeizige u. s. w. Auch mufsten diese Planeten nicht eben mit der Sonne zugleich an demselben Orte des Himmels seyn, um ihre wohlthätigen oder verderblichen Einflüsse auf den unter ihren Aspecten gebornen Menschen zu äufsern. Wenn sie der Sonne gerade gegenüber standen, also z. B. im Sternbilde des Wassermanns, während die Sonne im Löwen war (die sogenannte Opposition), wenn sie um 120 Grade (im Gedrittschein) oder um 90 Grade (in der Quadratur) oder um 60 Grade (im Sechstschein) vor- oder rückwärts der Sonne waren, so war ihr Einfluss immer ein anderer, und selbst dieser wurde noch durch die Stellungen der Planeten selbst unter sich mannigfaltig modificirt, da einige derselben als befreundet, andere aber als unter einander feindlich angesehn wurden. Alle diese sogenannten *Aspecten*, die jetzt nur noch in unsern Kalendern als Ueberreste der guten alten Zeit figuriren, waren ehedem von der gröfsten Bedeutsamkeit. Ihre Wirkungen auf die Natur überhaupt und besonders auf die des Menschen wurden unter bestimmte, ebenso grundlose als verwickelte Regeln gebracht und an der Wahrheit derselben zu zweifeln wurde nicht nur für unvernünftig,

sondern selbst für irreligiös gehalten. In diesen astrologischen Regeln, wonach den Menschen die Nativität gestellt und das Schicksal derselben vorausgesagt wurde, spielten vorzüglich die sogenannten *Häuser* eine grofse Rolle. Um diese zu bezeichnen, theilte man den Aequator in zwölf gleiche Theile. Durch diese Theilungspuncte und durch diejenigen zwei Puncte, in welchen der Meridian den Horizont schneidet, zog man Kreise, die die Oberfläche des Himmels in zwölf Theile theilten, welche man die himmlischen *Häuser* nannte. Das erste Haus wurde dasjenige genannt, welches in Osten zunächst unter dem Horizonte lag. Es hiefs auch das *Haus des Lebens* oder der östliche Winkel oder vorzugsweise das *Horoskop*. Das zweite Haus, unmittelbar unter jenem gelegen, war das Haus des Glückes oder des Reichthums; ihm folgte in derselben Ordnung das 3te oder das Haus der Brüder; das 4te, oder das tiefste unter dem Horizonte, hiefs das Haus der Verwandtschaft oder der Himmelsgrund; das 5te war das Haus der Kinder, das 6te das der Gesundheit; das 7te war das Haus der Ehe oder der westliche Winkel, das 8te das Haus des Todes oder die obere Pforte, das 9te das Haus der Religion, das 10te das Haus der Würden und Kronen, das 11te das Haus der Freunde und Wohlthäter und endlich das 12te das Haus der Feinde oder der Gefangenschaft. Nennt man mit Keppler den culminirenden Punct der Ekliptik den *Nonagesimus*, so sieht man, dafs dieser Nonagesimus zugleich der Anfangspunct des 10ten Hauses ist und dafs der Anfang des 1sten Hauses oder des Horoskops gleich dem um 90 Grade vermehrten Nonagesimus ist. In den alten Ephemeriden des Maginus, Stadius, Argoli u. a. findet man die Regeln umständlich angegeben, wie man den Anfang dieser Häuser durch Rechnung sowohl, als bequemer durch eigene Tafeln finden kann. Diese Tafeln haben die Aufschrift oder das Argument *Tempus a meridie*, welcher Ausdruck gleichbedeutend mit unserer heutigen *Sternzeit* ist. *Thema* hiefs dann der Stand des Himmels oder die Lage jener zwölf Häuser gegen den Horizont eines gegebenen Orts der Erde für eine bestimmte Zeit, z. B. für den Augenblick der Geburt eines Menschen, wobei zugleich der Stand der Sonne, des Monds und aller Planeten in diesen Häusern angegeben wurde. Das Horoskop oder das erste der erwähnten zwölf himmlischen Häu-

Digitized by Google

ser wurde als das wichtigste angegeben, von welchem das Schicksal jenes Menschen vorzüglich abhängen sollte, daher die Redensart: einem das Horoskop stellen. Unter den übrigen Kunstwörtern der Astrologie kam besonders oft der *Promissor* und *Significator* vor, deren Bedeutung man am besten aus einem Beispiele ersehn kann. Wenn z. B. der Mond als Anzeiger (*Significator*) irgend eines zu bestimmenden künftigen Ereignisses angenommen wird, das sich, nach den Regeln der Astrologie, durch die Verbindung des Monds mit einem gegebenen Planeten, z. B. mit Mars, bestimmen lassen soll, so heifst derjenige Punct der Ekliptik, welchem die Länge des Monds entspricht, der *Significator* und derjenige Punct, dem die Länge des Mars entspricht, der *Promissor*, und dergleichen Dinge mehr, die jetzt keine weitere Erwähnung mehr verdienen, wenn sie nicht als Denkmal einer traurigen Verirrung des menschlichen Geistes aufbewahrt werden sollen.

Für die ersten Erfinder und Ausbilder dieser sogenannten Wissenschaft hält man allgemein die Chaldäer und nach ihnen die Aegyptier. Da diese Kunst bei beiden Völkern in so hohem Ansehn stand und da es doch unmöglich war, bei der Geburt eines jeden Menschen von einiger Bedeutung immerwährende, unmittelbare Beobachtungen des Himmels anzustellen, so fühlte man bald das Bedürfnifs, die verschiedenen Erscheinungen desselben, besonders die so einflufsreichen Bewegungen der Sonne, des Monds und der Planeten näher kennen zu lernen. Es ist wahrscheinlich, dafs wir diesem Bedürfnisse der Astrologen die eigentlichen ersten Kenntnisse der Astronomie und die Erhaltung der astronomischen Schriften der Alten verdanken, sowie wir bekanntlich dem nicht minder thörichten Treiben der Alchimisten mehrere der schönsten chemischen Entdeckungen schuldig sind.

Es wird überflüssig seyn, hier derjenigen Männer nähere Erwähnung zu thun, die sich unter jenen beiden Völkern als grofse Astrologen berühmt gemacht haben sollen. Die meisten derselben, wie Zoroaster, Belezes, Berosus u. a., gehören der Mythenzeit an und ihre Namen sind nur eben dieses ihres Rufes wegen erhalten worden. Um den Anfang der christlichen Zeitrechnung verbreitete sich diese Geisteskrankheit, die bisher blofs im Oriente endemisch zu seyn schien,

auch nach dem Westen und besonders nach Rom. Die Chaldäer oder Mathematiker, wie damals die Astrologen insgesammt hiefsen, wurden mehr als einmal durch Senatsbeschlüsse bei Todesstrafe aus der Stadt verwiesen, in welche zurückzukehren sie aber immer wieder Mittel fanden. Tiberius, sowie Diocletian und Vitellius leiteten gegen sie, wahrscheinlich aus ganz nichtwissenschaftlichen Ursachen, eine förmliche Verfolgung ein, die ebenfalls die einmal allgemein beliebte und den abergläubischen Römern nothwendig gewordene Rotte nicht unterdrücken konnte. Der bereits oben erwähnte Dichter Manilius war, wie seine Schrift zeigt, der Astrologie ganz ergeben, und ebenso Tarutius Firmanus, der Busenfreund Cicero's und Varro's. Auch Ptolemäus blieb von der allgemeinen Ansteckung nicht frei, wie seine zwei Schriften *Tetrabiblon* und *Centiloquium* bezeugen, wenn sie anders in der That von dem Verfasser des Almagests sind, in welchem letztern die Astrologie mit keinem Worte erwähnt wird.

Die Araber betrieben die Astrologie vom 7ten bis zum 13ten Jahrhunderte mit dem regsten Eifer. Unter ihnen zeichneten sich besonders aus Messalah, Albumasar, Ali-Ben-Rodoan, Alia-Ben-Ragel, Almansor, Zahel-Bebis u. a., deren Schriften, ins Lateinische übersetzt, beinahe sämmtlich im 16. Jahrhunderte zu Venedig im Drucke erschienen, meistens in gewaltigen Foliobänden, die man jetzt nicht gern umsonst in die Bibliotheken aufnehmen wird, obschon sie zu ihrer Zeit um grofse Summen erkauft und als wahre Schätze der Gelehrsamkeit begierig gesucht wurden.

Dafs die auf die arabische Periode folgenden Jahrhunderte der Barbarei und Unwissenheit von dieser Krankheit nicht frei blieben, darf kaum erwähnt werden, da der Aberglaube, wie alles Ungeziefer, immer im Finstern am liebsten sein Wesen treibt. Unter den Astrologen dieser Zeit sieht man mit Bedauern Regiomontan (geb. 1436, gest. 1476), den grofsen Restaurator der Astronomie, und Stoeffler (geb. 1452, gest. 1531), den eigentlichen Anführer der gesammten Horde, der viele Jahre durch voluminöse astrologische Kalender voll Unsinns herausgab und der auf seinem Sterbebette sein Scepter dem nicht weniger berüchtigten Leovitius überliefs. Selbst der gelehrte Camerarius, Melanchthon's Freund, glaubte

Digitized by Google

durch eine sehr sorgfältig bearbeitete Ausgabe der vorzüglichsten griechischen, römischen und arabischen Astrologen der Wissenschaft einen grofsen Dienst erwiesen und sich selbst unsterblich gemacht zu haben. Einer der berühmtesten war Hieronymus Cardanus (gest. 1575), berühmt als Geometer und als Arzt und allgemein bewundert als der erste aller Astrologen, der bizarrste und zugleich geistreichste Mann seiner Zeit, dessen genaue Biographie noch immer erwartet wird, obschon sie ohne Zweifel einer der wichtigsten Beiträge zur Anthropologie seyn müfste. Ein anderer grofser Astrolog war Junctinus, der mit Catharina von Medicis nach Frankreich kam, die Gunst derselben lange Zeit im hohen Grade genofs und endlich, von ihr entlassen, arm und verkannt als Corrector einer Buchdruckerei zu Lyon starb, was er nicht in den Sternen vorausgelesen hatte.

Im 17ten Jahrhunderte spielte Argoli auf dieser Bühne mit grofsem Beifall. Auch Tycho de Brahe und selbst der grofse Keppler konnten sich nicht ganz von dieser Verirrung frei halten und mufsten dem Geiste des Jahrhunderts ihr Opfer bringen. Die für alle Folgezeiten merkwürdige Entdeckung des Copernicus war der Anfang und die eigentliche Ursache des endlichen Untergangs der Astrologie. Wie konnte man noch ferner an den Einflufs der Gestirne auf das Schicksal der einzelnen Bewohner der Erde glauben, nachdem man gelernt hatte, dafs diese ganze Erde selbst nur einer jener vielen Körper ist, die sich, alle demselben Gesetze gehorchend, um die Sonne bewegen, und dafs diese Fixsterne, die jedem einzelnen von uns so nahe verwandt seyn sollen, in einer wahrhaft unendlichen Entfernung von uns abstehn. Dennoch fehlte es an mannigfaltigen Versuchen nicht, das morsche, in allen seinen Theilen den Einsturz drohende Gebäude zu stützen und ihm, wenn möglich, wieder zu der alten Stärke zu verhelfen. Unter denen, die sich zu diesem Geschäfte berufen fühlten, zeichnete sich vorzüglich Joh. Bapt. Morin (geb. 1583, gest. 1656) aus. Sein Werk, *Astrologia Gallica*, war die Frucht einer dreifsigjährigen Arbeit. Man bewunderte seine Gelehrsamkeit, indem zugleich seine Ungeschicklichkeit oder sein Unglück in der Ausübung seiner Kunst der Gegenstand des allgemeinen Gespöttes war. Mehr als zwanzigmal sagte er den Tod seines Gegners, des braven Gassendi, voraus. Aber die-

Digitized by Google

ser schien sich immer wieder von seinem Krankenlager nur deshalb zu erheben, um Morin's Prophezeiungen Lügen zu strafen. Selbst Ludwig's XIII. Tod sagte er bis auf Tag und Stunde voraus, aber der König befand sich nie besser, als zu eben dieser Zeit. Mit Morin ging auch die Astrologie selbst zu Grabe. Seit seinem Werke haben wir kein späteres mehr von einiger Bedeutung aufzuweisen, wenn man nicht etwa das von J. W. Pfaff (Bamberg 1816 und 1821) dahin zählen will, das aber, wie zu erwarten war, keine Beachtung fand. Diese Verirrung des menschlichen Geistes ist bis auf ihre letzten Spuren untergegangen und man wird in unsern Tagen kaum noch einen Astronomen in Europa finden, der im Stande ist, oder der es der Mühe werth gefunden hätte zu erlernen, sich selbst oder einem andern nach den Regeln der Kunst das Horoskop zu stellen. Blofs der Orient ist noch der alten Geliebten treu geblieben und wir haben keinen Grund, ihn um sein Glück zu beneiden.

Um nach dieser Digression wieder zu unserm Gegenstande zurückzukehren, wollen wir zuerst bemerken, dafs man die Zeichen des Thierkreises je nach den Jahreszeiten in vier Classen einzutheilen pflegt. Die ersten drei, Widder, Stier und Zwillinge, heifsen die *Frühlingszeichen*, weil die Sonne in diesen drei Zeichen zu der Zeit von der Erde gesehn wird, wenn die nördliche Hemisphäre der Erde ihren Frühling feiert, d. h. vom 21. März bis 22. Juni. Die drei folgenden, Krebs, Löwe und Jungfrau, heifsen aus derselben Ursache die *Sommerzeichen* und ebenso sind Waage, Scorpion, Schütze die *Herbstzeichen* und endlich Steinbock, Wassermann und Fische die *Winterzeichen*. Der Anfang der vier Jahreszeiten, oder der Eintritt der Sonne in das Zeichen des Widders, des Krebses, der Waage und des Steinbockes hat statt am

21. März im Anfange des Frühlings
22. Junius — — — Sommers
23. September — — Herbstes
22. December — — Winters.

Aufser dieser Eintheilung hat man noch eine andere nach der Lage dieser Zeichen gegen den Aequator. Die sechs ersten, vom Widder angefangen, liegen nämlich über dem Aequator oder auf der Nordseite desselben und heifsen daher die *nörd-*

Digitized by Google

lichen Zeichen, während die sechs andern die *südlichen* genannt werden.

Wenn die Sonne, im Anfange unsers Winters, in den Steinbock tritt, so steht sie am tiefsten unter dem Aequator auf der südlichen Seite desselben. Von da erhebt sie sich während eines halben Jahrs immer mehr über unsern Horizont im Mittag, bis sie endlich im Anfange unsers Sommers, wo sie in den Krebs tritt, am höchsten über dem Aequator auf der nördlichen Seite desselben steht, daher heifsen diese sechs Zeichen, Steinbock, Wassermann, Fische, Widder Stier und Zwillinge, die *aufsteigenden Zeichen*, wogegen die sechs in derselben Ordnung folgenden, Krebs, Löwe, Jungfrau, Waage, Scorpion und Schütze, die *niedersteigenden* genannt werden, weil die Sonne, während sie diese Zeichen durchwandert, immer tiefer gegen und unter den Aequator sich herabsenkt.

Wenn man einen Globus oder eine Himmelscharte betrachtet, so bemerkt man auf den ersten Blick, dafs das Sternbild des Widders keineswegs beim Frühlingspuncte, wo Aequator und Ekliptik sich schneiden, sondern nahe volle 30 Grade weiter östlich steht und dafs überhaupt alle zwölf erwähnte Constellationen des Thierkreises um einen Bogen von fast 30 Graden zu weit vorgerückt sind. Zu der Zeit nämlich, als man diesen Constellationen die oben erwähnten Namen gegeben hat, traf wahrscheinlich der erste Punct des Widders in den Frühlingspunct, während der erste Punct des Stiers um 30, der des Zwillings um 60 Grade und so fort weiter östlich von dem Frühlingspuncte lagen. Ich sage, wahrscheinlich, weil unter dieser Voraussetzung jene Benennungen so gut zu den Jahreszeiten und zu den Naturerscheinungen in diesen Zeiten passen. Allein dieser Frühlingspunct, und ebenso auch der ihm gegenüberstehende Herbstpunct des Himmels, ist keineswegs ein fester, unveränderlicher Punct, sondern er bewegt sich vielmehr, obschon sehr langsam, von Ost gen West oder, wie man sich besser ausdrückt, er bewegt sich *gegen die Ordnung der Zeichen*, indem er vom Widder in die Fische, von diesen in den Wassermann u. s. w. übergeht und sich daher von jedem Sternbilde, wenn er es einmal verlassen hat, immer weiter westwärts entfernt. Man kann sich die Sache am einfachsten so vorstellen, dafs die

Ekliptik am Himmel immer dieselbe Lage behält, während der Aequator sich, ungefähr mit sich selbst parallel, rückwärts oder gegen die Ordnung der Zeichen bewegt und daher die feste Ekliptik in immer westlicher liegenden Puncten schneidet. Das daraus entstehende Rückwärtsgehn des Frühlings- und Herbstpunctes nennt man die *Praecession* oder das *Vorrücken* der Aequinoctien, worüber im Artikel *Vorrückung* nähere Auskunft gegeben wird. Hier mag es genügen zu bemerken, dafs diese Durchschnittspuncte des Aequators mit der Ekliptik in der letzten Ebene jährlich sehr nahe 50,21 Secunden oder, was dasselbe ist, in hundert Jahren 1° 23′ 41″ oder 1,3947 Grade gegen Westen gehn. Nehmen wir also an, dafs der Frühlingspunct zu der Zeit, als jene Namen der Sternbilder erfunden wurden, eben in der Mitte des Sternbildes des Widders stand, d. h. dafs er seit jener Zeit 45 Grade zurückgelegt habe, so würde er zu diesem Wege 3226 Jahre gebraucht haben oder die Zeit jener Erfindung würde ungefähr in das Jahr 1390 oder 1400 vor Ch. G. fallen, was sich mit dem, was uns von der Menschengeschichte bekannt ist, allerdings gut vereinigen lafst, da dieses die Zeit ist, die unmittelbar vor Pelops oder nach Moses fällt, eine Epoche, in welcher die Chaldäer, die Aegyptier oder andere Völker des Orients schon denjenigen Grad der Bildung erreicht zu haben scheinen, den eine solche Erfindung und überhaupt eine aufmerksamere Betrachtung des Himmels vorauszusetzen scheint.

Da die Astronomen die *Länge* und die *gerade Aufsteigung*[1] von diesem Frühlingspuncte aus zählen und da dieser Frühlingspunct, wie gesagt, veränderlich ist, so werden dadurch die Positionen der Gestirne oder diese Längen und Aufsteigungen derselben selbst veränderlich. Die älteren Beobachter pflegten diese Längen in Zeichen, Graden, Minuten und Secunden anzugeben, wo jedes Zeichen 30 Grade, jeder Grad 60 Minuten und jede Minute endlich 60 Secunden hat. Wenn sie also z. B. sagten, die Länge eines Gestirns sey 15 ♉ 30 Min. 45 Sec., so sollte dieses heifsen, dafs das Gestirn in Länge um 45° 30′ 45″ von dem Frühlingspuncte abstehe oder dafs seine Länge gleich 45° 30′ 45″ sey, nicht aber, dafs es im 15ten Grade, also in der Mitte des Sternbildes des

1 Vergl. *Breite*. Bd. I. S. 1204.

Stiers, sey, da in dem letzten Falle die Länge des Gestirns mehr als 70° betragen müfste. Diese Astronomen haben also die Ekliptik ebenfalls, wie ihre alten Vorgänger, in zwölf gleiche Theile getheilt, aber sie haben den Anfang dieser Theilung im Frühlingspuncte genommen und dabei nicht nur, wie die Alten, jedem dieser zwölf Theile 30 Grade gegeben, sondern sie auch mit demselben Namen und mit denselben Zeichen ♈, ♉, ♊, ♋ u. s. w. belegt. Diese *halbe* Aenderung einer Sache von so wichtiger Bedeutung hat zu manchen Mifsverständnissen und Irrthümern Anlafs gegeben, die man vermeiden wird, wenn man diese Zeichen als Zahlzeichen oder als Ziffer nimmt, wie sie die folgende kleine Tafel giebt.

Widder oder Zeichen	0	♈	gleich	0 Graden der Länge.
Stier - -	I	♉	gleich	30
Zwillinge - -	II	♊	gleich	60
Krebs - -	III	♋	gleich	90
Löwe - -	IV	♌	gleich	120
Jungfrau - -	V	♍	gleich	150
Waage - -	VI	♎	gleich	180
Scorpion - -	VII	♏	gleich	210
Schütze - -	VIII	♐	gleich	240
Steinbock -	IX	♑	gleich	270
Wassermann -	X	♒	gleich	300
Fische - -	XI	♓	gleich	330.

Man unterscheidet demnach die beiden Worte *Zeichen*, die man früher auch *Dodecatemoria* genannt hat, und *Sternbilder*, welches letztere auch mit *Constellationen* gleichbedeutend ist. Das Sternbild hat immer nahe 30 Grade mehr in Länge, als das denselben Namen tragende Zeichen, und wenn die Astronomen die Länge der Gestirne durch diesen Namen angeben, wie mehrere selbst im Anfange des gegenwärtigen Jahrhunderts gethan haben, so sind dabei immer die Zeichen oder die Ziffern der vorhergehenden Tafel, nie aber die himmlischen Sternbilder selbst gemeint. Die neuesten Astronomen haben diese unzweckmäfsige Art sich auszudrücken ganz verlassen und setzen dafür blofs die Längen oder geraden Aufsteigungen der Gestirne in Graden, Minuten und Secunden an, wodurch kein weiteres Mifsverständnifs mehr entstehn kann. Besser wäre es noch, auch die Minuten und Secunden in Theilen

Digitized by Google

des Grades auszudrücken und z. B. in dem vorigen Exempel statt 45° 30′ 45″ ganz einfach zu sagen, die Länge des Gestirns sey 45,5125 Grade. Allein es hält sehr schwer, einmal eingeführte Gewohnheiten selbst gegen anerkannt bessere umzuwechseln, wie wir bei der Decimaleintheilung und dem metrischen Systeme in Frankreich und bei so vielen andern vorgeschlagenen Veränderungen gesehn haben, dafs es am Ende gerathener erscheint, das Alte, wenn es sonst nur brauchbar ist, stehn zu lassen, um wenigstens den bei solchen Neuerungen oft unvermeidlichen Verwirrungen und Mifsverständnissen auszuweichen.

4) Sternbilder der Alten.

Aufser den bereits erwähnten zwölf Sternbildern kannten die Alten noch 36 andere, von welchen 21 der nördlichen und 15 der südlichen Hemisphäre des Himmels angehören.

a) Die alten nördlichen Sternbilder.

1) Cassiopeia, 2) Andromeda, 3) das nördliche Dreieck, 4) Perseus und der Medusenkopf, 5) der Fuhrmann mit der Ziege, 6) der grofse Bär, 7) der kleine Bär, 8) der nördliche Drache, 9) Bootes oder der Bärenhüter, 10) die nördliche Krone, 11) Herkules, 12) Ophiuchus oder der Schlangenträger, 13) die Schlange des Ophiuchus, 14) die Leier mit dem Geier, 15) der Adler, 16) der Schwan, 17) der Pfeil, 18) der Delphin, 19) das kleine Pferd, 20) Pegasus und 21) Cepheus.

b) Die alten südlichen Sternbilder.

1) Der Wallfisch, 2) der grofse Hund, 3) der kleine Hund, 4) die grofse Wasserschlange, 5) der Becher, 6) der Rabe, 7) der Wolf, 8) der Centaur, 9) das Schiff Argo, 10) die südliche Krone, 11) der südliche Fisch, 12) der Hase, 13) der Altar, 14) der Flufs Eridanus und 15) Orion.

Diesen haben spätere Astronomen noch folgende

c) neuere Sternbilder

hinzugefügt. 1) Antinous, 2) das Haupthaar der Berenice; diese beiden Sternbilder, deren Erfinder man nicht näher kennt und die auch die Griechen nicht erwähnen, sind von

Digitized by Google

Tycho wieder eingeführt und allgemein angenommen worden; 3) die Carlseiche, 4) die Taube, 5) das Kreuz, 6) der Sobieski'sche Schild, 7) das Einhorn, 8) die Giraffe oder das Camelopard, 9) der uranische Sextant, 10) die Jagdhunde, 11) der kleine Löwe, 12) der Luchs, 13) der Fuchs mit der Gans, 14) die Sterneidechse, 15) das kleine Dreieck, 16) die Fliege beim Widder, 17) Cerberus bei Herkules, 18) die americanische Gans, 19) der Phönix, 20) die kleine Wasserschlange, 21) der Schwertfisch oder Dreieck, 22) der fliegende Fisch, 23) das Chamäleon, 24) der Paradiesvogel, 25) das südliche Dreieck, 26) der Pfau, 27) der Indianer, 28) der Kranich, 29) der Berg Mänalus bei Bootes, 30) das Herz Carl's II., 31) das Rennthier, 32) der indianische Vogel oder der Einsiedler, 33) der Poniatowski'sche Stier, 34) der Erntehüter oder Messier, 35) der Mauerquadrant, 36) das brandenburgische Scepter, 37) Friedrichs-Ehre, 38) die Georgsharfe, 39) das Herschel'sche Teleskop, 40) der Luftballon, 41) die Buchdruckerwerkstatt, 42) die Elektrisirmaschine, 43) das Log mit der Leine, 44) die Bildhauerwerkstatt, 45) der chemische Ofen, 46) die Pendeluhr, 47) das rhomboidische Netz, 48) der Grabstichel, 49) die Malerstaffelei, 50) der Seecompafs, 51) die Luftpumpe, 52) der See-Octant, 53) der Zirkel, 54) Lineal und Winkelmafs, 55) das astronomische Fernrohr, 56) das Mikroskop, 57) der Tafelberg, 58) die Setzwaage.

Demnach zählen wir 48 alte und 58 neue, zusammen 106 Sternbilder des Himmels[1].

5) Namen der vorzüglichsten Sterne.

Die Alten, besonders die Araber, haben die gröfsten Sterne des Himmels mit eignen Namen belegt, von welchen die meisten, wenn gleich in der Schreibart oft sehr entstellt, noch auf uns gekommen sind. Auch pflegte man sie wohl nach den einzelnen Theilen der Sternbilder, in welchen sie standen, zu bezeichnen, z. B. der hellste Stern in der östlichen Schulter Orion's, im östlichen Horn des Stiers u. s. w.

---

1 Zur nähern Kenntnifs der einzelnen Sternbilder können unter andern dienen Astronomie par Mr. de la Lande cet. Seconde éd. Paris 1771. IV T. 4. T. I. Lib. III. und J. E. Bode's Anleitung zur Kenntnifs des gestirnten Himmels. Berlin. 8.

Digitized by Google

Johannes Bayer, dessen Himmelscharten zuerst im J. 1603 zu Augsburg herauskamen, führte dafür die viel bequemere Bezeichnung, durch die grofsen und kleinen Buchstaben des griechischen und lateinischen Alphabets ein, die auch noch in unsern Tagen allgemein beibehalten wird. Immerhin aber bleibt es nothwendig, auch jene ältern Sternnamen zu kennen, da sie auch jetzt noch sehr oft gebraucht werden[1]. Das folgende Verzeichnifs enthält die vorzüglichsten dieser Sternnamen mit den ihnen von Bayer gegebenen Buchstaben.

Acrab, β Scorpii.
Achernar, α Eridani.
Alamak, γ Andromedae.
Albireo, β Cygni.
Alchiba, α Corvi.
Alcyone, η Pleiadum.
Aldebaran, α Tauri.
Alderamin, α Cephei.
Algenib, γ Pegasi.
Algieba, γ Leonis.
Algol, β Persei.
Alhena, γ Geminorum.
Alioth, ε Ursae maj.
Alkaid, η Ursae maj.
Alphard, α Hydrae.
Alrami, α Sagittarii.
Alschain, β Aquilae.
Altair, α Aquilae.
Alula, γ Ursae maj.
Antares, α Scorpii.
Arktur, α Bootis.
Arneb, α Leporis.
Asellus bor., γ Cancri.
Asellus austr., δ Cancri.
Bellatrix, γ Orionis.
Beteigeuze, α Orionis.
Canopus, α Argo navis.

1 Das vorzüglichste Werk über diesen Gegenstand ist: Idelen's Untersuchung über den Ursprung und die Bedeutung der Sternnamen. Berlin 1809. 8.

Digitized by Google

Capella, α Aurigae.
Castor, α Geminorum.
Chaph, β Cassiopeiae.
Cursa, β Eridani.
Deneb, α Cygni.
Denebola, β Leonis.
Diphda, β Ceti.
Dubhe, α Ursae maj.
Elektra, b Pleiadum.
Enif, ε Pegasi.
Fomalhaut, α Piscis australis.
Gemma, α Coronae bor.
Giedi, α Capricorni.
Hamal, α Arietis.
Izar, ε Bootis.
Kiffa austr., α Librae.
Kiffa bor., β Librae.
Kocab, β Ursae min.
Markab, α Pegasi.
Megrez, δ Ursae maj.
Menkab, α Ceti.
Merak, β Ursae maj.
Merope, d Pleiadum.
Mesarthim, γ Arietis.
Mirach, β Andromedae.
Mirfok, α Persei.
Mirza, β Canis maj.
Mizar, ζ Ursae maj.
Nath, β Tauri.
Phekda, γ Ursae maj.
Pleione, h Pleiadum.
Pollux, β Geminorum.
Praesepe, ε Cancri.
Procyon, α Canis min.
Ras-Algeti, α Herculis.
Ras-Alage, α Ophiuchi.
Regulus, α Leonis.
Rigel, β Orionis.
Ruccabah, α Ursae min.
Scheat, β Pegasi.

Schedir, α Cassiopeiae.
Sertan, α Cancri.
Sheliak, β Lyrae.
Sirra, α Andromedae.
Sirius, α Canis maj.
Spica, α Virginis.
Sulaphat, γ Lyrae.
Taygeta, e Pleiadum.
Thuban, α Draconis.
Vindemiatrix, β Virginis.
Wega, α Lyrae.
Wezen, δ Canis maj.
Zaurak, γ Eridani.
Zavijava, β Virginis.

Bemerken wir noch, dafs *Aldebaran*, auch Palilicium genannt, der gröfste Stern unter den Hyaden, so wie *Alcyone* der gröfste unter den Pleiaden (oder in der Gluckhenne) ist; *Spica* heifst auch Azimech oder die Kornähre; *Ruccabah* oder α im kleinen Bär heifst auch *Polarstern;* nahe über Mizar oder ζ im grofsen Bär steht das sogenannte Reuterlein; der ganze grofse Bär heifst auch der *Wagen* und die drei in einer geraden Linie stehenden gleich grofsen und fast gleich weit von einander entfernten Sterne δ, ε und ζ im Gürtel Orion's werden der *Jakobsstab* genannt.

Das sicherste und bequemste Mittel, die Sterne kennen zu lernen, ist ohne Zweifel ein sogenannter *Himmelsglobus*. Man stellt ihn auf die bekannte Polhöhe des Orts, indem man den Meridian von Messing in dem Gestelle, das den Horizont vorstellt, dreht, bringt dann den Ort der Sonne in der Ekliptik für den gegebenen Tag unter diesen Meridian, stellt den Index des Stundenzeigers oder der Rose auf 12 Uhr Mittag und den Globus selbst sammt seinem Gestelle so, dafs der Nordpol desselben gegen den Polarstern oder dafs die mit Süd bezeichnete Stelle des Horizonts gegen den Mittagspunct des Himmels gerichtet ist. In dieser Lage dreht man den Globus in seinem metallnen Meridiane, bis der Index der Rose die eben statt habende Abend- oder Morgenstunde zeigt, und der Globus ist orientirt, d. h. er stellt in dieser Lage ein getreues Bild des Himmels im Kleinen dar. Erblickt man nun

Digitized by Google

an irgend einer Stelle des Himmels einige in ihrer Configuration dem Auge auffallende Sterne, die z. B. eine gerade Linie, ein nahe regelmäfsiges Viereck, einen Kreis u. s. w. bilden, so verbinde man in Gedanken jene Sterne mit dem Mittelpuncte des Globus durch gerade Linien und sehe zu, in welchen Orten die Oberfläche des Globus von diesen geraden Linien geschnitten wird, wo man denn sofort auch auf dem Globus jene Configurationen im Kleinen wieder finden und das sie enthaltende Sternbild erkennen wird, indem man z. B. sieht, dafs jene gerade Linie der oben erwähnte Jakobsstab, jenes Viereck der Pegasus, jener Kreis die nördliche Krone ist u. s. w. Einige Stunden schon werden hinreichen, auf diese Weise die vorzüglichsten Sterne und Sternbilder des eben sichtbaren Himmels kennen zu lernen.

Auch kann man, wenn man selbst nur zwei oder drei der gröfsten Fixsterne kennt, das umgekehrte Verfahren nicht unvortheilhaft anwenden und diese bekannten Sterne mit andern noch unbekannten auf dem Globus verbinden, wo man dann dieselbe Verbindung auch am Himmel wiederholt. Jedermann kennt die sieben Sterne am nördlichen Himmel, die man, wie bereits erwähnt worden ist, den grofsen Bären oder auch den Wagen nennt, wo die in einem Vierecke stehenden Sterne die vier Räder und die andern drei die Deichsel des Wagens vorstellen sollen. Betrachtet man dieses Sternbild auf einem Globus oder auch nur auf einem Planiglob (Sterncharte) und zieht man durch die zwei Hinterräder des Wagens eine gerade Linie, die man gegen den Pol der Charte so weit verlängert, bis diese Verlängerung nahe so grofs ist, als die Entfernung dieser beiden Räder von dem dritten oder entferntesten Sterne der Deichsel, so trifft man, wie die Charte zeigt, auf den *Polarstern*, und man hat dann nichts mehr zu thun, als diese Linie auch in Gedanken am Himmel durch dieselben zwei Sterne, welche die Hinterräder des Wagens vorstellen, zu ziehn, um sofort auch den Polarstern selbst am Himmel zu erkennen.

Diese Methode der Alignemens oder der Verbindung der vorzüglichsten Sterne durch gerade Linien oder eigentlich durch gröfste Kreise der Kugel ist sehr bequem, diese Sterne selbst kennen zu lernen, da die eigentlichen Figuren und Umrisse der Sternbilder selbst der Imagination nur sehr wenig nach-

helfen, indem die meisten gar keine oder doch nur eine sehr entfernte Aehnlichkeit mit denjenigen Gegenständen haben, welche durch ihre Namen ausgedrückt werden sollen. Die Chinesen mögen diese Bemerkung schon vor Jahrtausenden gemacht haben, da ihre ältesten Sterncharten keine eigentlichen Sternbilder, keine Figuren, sondern nur solche Alignemens enthalten, durch welche die vorzüglichsten Sterne unter einander auf eine sehr leicht zu übersehende Weise verbunden werden. Eine solche Charte findet man in Littrow's popul. Astron. (Wien, 1825.). Sie zeigt auf den ersten Blick die Verbindungen der vorzüglichsten Fixsterne. So geht eine gerade Linie durch den Polarstern und durch γ des grofsen Bären nach Denebola im Löwen, die durch den Polarstern und ε des grofsen Bären nach der Vindemiatrix in der Jungfrau, die durch den Polarstern und Castor nach Procyon im kleinen Hunde, die durch α und α im grofsen Bären nach Arktur im Bootes u. s. w., so dafs es auf diese Weise gar leicht ist, die gegenseitige Lage der Sterne der ersten drei Gröfsen unter einander zu erkennen und dem Gedächtnisse einzuprägen.

L.

Sterncharten.

Himmelscharten; *Mappae coelestes*; Cartes célestes; *Celestial Maps.*

Ohne Zweifel hat man es schon in den ältesten Zeiten versucht, den gestirnten Himmel in Abbildungen, entweder auf Ebenen (Sterncharten oder Planisphären), oder auf der Oberfläche einer Kugel (Globen), darzustellen. In Ptolemäus Almagest findet man zu diesen Abbildungen bereits einige, wenn gleich noch unvollkommne Vorschriften. Da von diesen Charten der Alten keine auf uns gekommen ist, so beschränken wir uns hier auf die vorzüglichsten derjenigen, die seit der Restauration der Astronomie im 15ten Jahrhunderte erschienen sind.

Von diesen verdient zuerst genannt zu werden der Atlas von Joh. Bayer, der unter dem Titel „Uranometria" in 51 Blättern im Jahre 1603 zu Augsburg und in einer zweiten Auflage 1639 zu Ulm erschien. Dieser Sammlung ist ein Catalog von 1706 Sternen in Länge und Breite beigegeben. Beide, Charten und Ka-

talog, sind nicht auf eigne Beobachtungen gegründet, sondern nur aus denen der Vorgänger gesammelt. Auch ist der Kunstwerth der Charten nur gering. Was sie aber für die Geschichte dieses Theils der astronomischen Literatur merkwürdig macht, ist die Bezeichnung der vorzüglichsten Sterne durch einzelne Buchstaben des griechischen und lateinischen Alphabets, die Bayer an die Stelle der vielen und oft sehr barbarisch geschriebenen griechischen und arabischen Sternnamen setzte, indem er den gröfsten Sternen jedes Sternbildes die ersten Buchstaben α, β, γ ... beilegte. Durch diese scheinbar unbedeutende Abänderung ist die Astrognosie sehr vereinfacht und die Sprache derselben ungemein erleichtert worden. Aus dieser Ursache hat man sie auch mit wenigen Ausnahmen bis auf unsre Zeiten unverändert beibehalten.

Mehrere Jahre später im Jahre 1627 erschien Jul. Schiller's *Coelum stellatum Christianum*, ein Atlas in 55 Blättern, durch den die Sache nicht gefördert wurde und der hier blofs erwähnt wird, weil er an die Stelle der mythologischen und altgeschichtlichen Figuren der Sternbilder die Apostel, die Propheten des alten Testaments und die Heiligen des katholischen Kalenders gesetzt hat, eine Aenderung, die keinen Beifall finden konnte, so sehr sie auch dem Geschmacke seiner Zeit und der Intention seines Ordens gemäfs seyn mochte.

Der Atlas von Pardies, der 1673 in 6 Blättern erschien, war mit mehr Sorgfalt als der vorhergehende zusammengetragen und ausgeführt, ohne übrigens die Astrognosie seiner Zeit zu fördern. Mehr geschah dieses durch Hevel's *Firmamentum Sobiescianum*, einen Atlas von 54 Blättern, die 1690 zu Danzig auf Kosten des Verfassers herauskamen. Sie sind, zum Theil wenigstens, auf eigene Beobachtungen gegründet und zeichnen sich durch Richtigkeit und Schönheit des Stichs vor allen vorhergehenden sehr vortheilhaft aus. Ihnen folgte des Cellarius *Harmonia Macrocosmica*, die 1708 in 8 Charten herauskam und Hevel's Werk keineswegs entbehrlich machte.

Im Jahre 1729 erschien zu London Flamstead's *Atlas coelestis* in 28 grofsen Folioblättern, welches Werk alle vorhergehende weit hinter sich zurückliefs. Die Zeichnungen sind mit für jene Zeit hoher Kunst und mit Luxus ausgeführt, aber der Preis derselben ist auch 48 Pfund. Da Flamstead in

diesen Charten, die grofses Aufsehn erregten, die oben erwähnte Bayer'sche Bezeichnung der Sterne annahm, so wurde dieselbe seit dieser Epoche allgemein eingeführt. Da aber der hohe Preis dieses Atlas vielen beschwerlich fiel, so gab Fortin 1776 in Paris eine Art von zweiter Auflage desselben, in welcher Flamstead's Zeichnungen auf den dritten Theil ihrer Gröfse zurückgeführt wurden. Diesen Atlas von Fortin gab später 1782 Bode in Berlin mit vielen Verbesserungen unter dem Titel „Vorstellungen der Gestirne" in 34 mäfsigen Quartblättern heraus und fügte ihnen einen Katalog von 5058 Sternen bei. Von dem letzten Werke erschien 1805 zu Berlin eine zweite Auflage mit einem Katalog von 5877 Sternen. Noch mehr als durch diesen alles Lobes werthen Atlas machte sich Flamstead durch seinen *Sternkatalog* um die Astronomie verdient. Dieser erschien zuerst im Jahre 1712 zu London in einem Foliobande unter dem Titel: *Historia coelestis Britannica* und zum zweitenmal 1725 sehr verbessert und vermehrt in drei Foliobänden. Dieses Sternverzeichnifs, das vorzugsweise unter der Benennung des *Catalogue britannique* bekannt geworden ist und dessen beide Ausgaben eigentlich Halley besorgte, war bei weitem besser und reicher, als alle seine Vorgänger, und wurde selbst lange nach seiner Erscheinung als der *Standard Catalogue of stars* betrachtet.

Im Jahre 1742 gab Doppelmayer seinen Atlas zu Nürnberg in 20 Blättern heraus. Die Zeichnung ist mittelmäfsig, die Positionen der Sterne sind ungenau eingetragen, aber da das Werk mit geringen Kosten angeschafft werden konnte, so wurde es, besonders in Deutschland, sehr verbreitet.

Da die Astronomen zur Beobachtung der Planeten vorzüglich die Sterne des Zodiacus bedürfen, so hat man von Zeit zu Zeit auch einzelne und sehr detaillirte Charten von dieser Zone des Himmels gegeben. Die zwei besten Charten des Thierkreises sind die von Senex, im Jahre 1690 in zwei Blättern zu London erschienen, und die, welche Dheulland unter Le Monnier's Leitung 1755 zu Paris herausgab. Die letzte enthält nur ein einziges Blatt im gröfsten Formate, ist aber doch für ihre Zeit sehr brauchbar gewesen, Jene zwei Blätter des Senex kosten drei Pfund, sind aber auch, in Beziehung auf Richtigkeit der Zeichnung und auf äufsere Ausstattung, diesem weit vorzuziehn.

Von den ältern Planisphären kann hier noch die des Capuziners Chrysolog de Gy erwähnt werden, die im Jahre 1778 zu Paris erschien und mit vielem Fleifse gearbeitet ist. Vorzüglicher aber sind die Planisphären, die Robert Vaugondy im Jahre 1764 zu Paris in zwei grofsen Blättern herausgab und die später 1777 von Funk in Leipzig mit mehrern zweckmäfsigen Aenderungen wieder aufgelegt worden sind.

Im Jahre 1799 erschien zu Weimar der Himmels-Atlas von Goldbach mit einer Einleitung von v. Zach, der nicht sowohl zum Gebrauche des eigentlichen Astronomen, als vielmehr für den Unterricht und für die zahlreichen Freunde dieser Wissenschaft bestimmt war. Diese Charten stellen in 27 grofsen Quart-Blättern die sämmtlichen gröfsern Sterne des Himmels weifs auf schwarzem Grunde und zwar jedes Sternbild doppelt vor, so dafs von je zwei an einander liegenden Blättern, deren also in allen 54 sind, das eine blofs die Sterne ohne Figuren und das andere die Sterne mit den schwachen Umrissen ihrer Figuren enthält, wodurch die Kenntnifs des gestirnten Himmels allerdings beträchtlich erleichtert wird. Goldbach legte seinen Charten die oben erwähnten von Fortin vom Jahre 1776, aber mit vielen eignen Verbesserungen, zum Grunde. Als Anweisung zu dem Gebrauche dieser Charten wurde zugleich Voigt's Lehrbuch einer populären Sternkunde in demselben Jahre zu Leipzig herausgegeben.

Bode gab in seiner „Anleitung zur Kenntnifs des gestirnten Himmels" zu demselben Zwecke des Unterrichts umständliche Himmelscharten, welche diejenigen Theile des Himmels darstellen, die in jedem Monate zu einer bestimmten Stunde der Nacht in dem Meridian von Berlin erscheinen. Diese Charten, besonders die der neunten Auflage dieses beliebten Werkes für Freunde der Sternkunde, sind immer als sehr brauchbar und zweckmäfsig betrachtet worden.

Für eigentliche wissenschaftliche Zwecke aber ist Bode's *Uranographia* bestimmt, ein Atlas von 20 Blättern im gröfsten Format (jedes Blatt hat 26 rhein. Zoll Höhe und 38 Zoll Länge). Dieser mit deutschem Fleifse zusammengetragene und sehr schön ausgestattete Atlas, der 1801 zu Berlin erschien, wurde von einem reichen Sternkatalog von 17240 Sternen begleitet, der jetzt noch den Beobachtern sehr gute Dienste leistet, obschon die Positionen der darin enthaltenen Sterne

Digitized by Google

sorgfältiger bestimmt seyn könnten. Immerhin ist dieses Werk eines der schönsten und vorzüglichsten aller bisher erschienenen dieser Art. Auch fanden sich bald Nachfolger, welche dasselbe, seines unbequemen grofsen Formats und seines höhern Preises wegen, im kleinern Mafsstabe wieder zu geben suchten. Hierher gehört vorzüglich der Atlas von Meigen: Der gestirnte Himmel sammt Beschreibung desselben, Düsseldorf 1823, wo die Blätter der Uranographie auf das Format von Grofs-Quart zurückgebracht und, obschon nur lithographirt, doch recht klar und deutlich wieder gegeben werden. Da die letztern nur zum Unterrichte bestimmt sind, so wurde ihnen kein Katalog, aber dafür die Abbildungen mehrerer Doppelsterne, Nebelflecken u. dgl. zugegeben.

Ein anderer beinahe zwergartiger Sprofsling der gigantischen Uranographie Bode's ist der Himmelsatlas in 20 Blättern, den Riedig in Leipzig im Jahre 1831 herausgegeben hat. Die einzelnen Blätter haben nur 3 Zoll Höhe und etwas über 4 Zoll Länge und sind doch so rein lithographirt, dafs sie zur Kenntnifs des gestirnten Himmels noch immer mit Nutzen gebraucht werden können und bei ihrem ungemein niedrigen Preise in allen Schulen eingeführt zu werden verdienen.

Für wissenschaftliche Beförderung dieses Zweiges der Astronomie erschienen vor einigen Jahren noch zwei Unternehmungen, die an Reichthum des Inhalts und an Genauigkeit der Darstellung wohl nur wenig Gleiches bei ihren Vorgängern finden werden. Harding's *Atlas coelestis* begann mit dem Jahre 1822. Er enthält eine Reihe von Charten, welche die zu beiden Seiten des Aequators bis auf die Declination von 30 Graden liegenden Sterne bis zur 8ten und 9ten Gröfse enthalten und mit der äufsersten Sorgfalt, häufig auch aus eignen Beobachtungen zusammengetragen sind. Sie waren vorzüglich bestimmt, bei der Beobachtung der vier neuen Planeten, deren Zodiacus viel gröfser ist, als jener der Alten, zur Vergleichung gebraucht zu werden.

Im Jahre 1825 erging von der Berliner Akademie eine Aufforderung an die Astronomen, dafs jeder derselben eine Stunde der Rectascension mit 15 Graden Declinations-Differenz am Himmel durchsuchen sollte. Die auf diese Weise entworfene Charte dieses Theils des Himmels sollte alle Sterne

der *Histoire céleste*[1] und der Bessel'schen Zonen enthalten und zwischen diesen Sternen sollten überdiefs alle diejenigen zwischenliegenden nach Schätzung eingetragen werden, die man mit einem Fraunhofer'schen Fernrohre von 34 Linien Oeffnung noch sehn kann. Einzelne Theile dieses umfassenden Werkes, das seiner Natur nach nur langsam fortschreitet, sind eben im Entstehen und drei Blätter (von Hussey, Inghirami und Göbel) sind bereits vollendet.

Die Entwerfungsart oder die sogenannte *Projection*, nach welcher die meisten der vorhergehenden Charten gezeichnet sind, ist die Flamstead'sche, die man als die geeignetste zu diesem Zwecke beinahe allgemein beibehalten hat, wenn nur einzelne Theile des Himmels darzustellen sind, für die Darstellung der Halbkugel oder für die sogenannten *Planisphären* aber bedient man sich vorzugsweise der orthographischen oder auch der stereographischen Projection, wo bei der ersten das Auge des Beobachters in einer unendlichen Entfernung von der Kugel, bei der zweiten aber in der Oberfläche der Kugel selbst, die Projectionsebene aber durch den Mittelpunct der Kugel senkrecht auf die Gesichtslinie (auf die das Auge und den Mittelpunct verbindende Gerade) gestellt wird[2].

Himmelsgloben.

Nachdem wir so die vorzüglichsten Abbildungen des Himmels in einer Ebene oder die eigentlichen Himmelscharten erwähnt haben, wird es angemessen erscheinen, auch noch die ausgezeichnetsten *Globen* oder diejenigen Abbildungen des Himmels namhaft zu machen, die man auf der Oberfläche einer Kugel zu geben pflegt.

Von den Globen der Alten ist, so wie von ihren Himmelscharten, nichts auf uns gekommen. Der älteste, den wir besitzen, ist ein arabischer Globus vom Jahre 1225. Er wird in dem Museum des Cardinals Borgia zu Velletri aufbewahrt und trägt in seinen Sternnamen eine arabisch-cufische Schrift. Assemann hat davon im Jahre 1790 zu Padua eine

---

1 Vergl. *Fixsterne*. Bd. IV. S. 348.

2 Vergl. *Landcharte*. Bd. VI. S. 103. Umständliche Nachricht über alle bisher gebrauchten Projectionen der Land-, See- und Himmels-Charten findet man in Littrow's Chorographie. Wien 1833.

Beschreibung und Abbildung herausgegeben. Nicht minder alt, wenn nicht noch älter, scheint der arabische Globus zu seyn, der in dem mathematischen Salon zu Dresden aufbewahrt wird[1]. Dafs aber auch die Griechen schon den Himmel durch Globen darzustellen wufsten, sieht man aus mehrern Stellen der Alten. So spricht Ovid[2] von einem Globus, welchen Archimedes gebraucht haben soll, und Strabo[3] redet von einem ähnlichen des Krates, der gegen 130 vor Ch. G. in Cilicien lebte.

Im 16. und 17. Jahrhunderte beschäftigte man sich sehr mit der Verfertigung solcher Instrumente, wie denn selbst Regiomontan, Schoner, Gemma Frisius, Apianus u. A. dieselben oft mit seltenem Fleifse und grofsem Aufwande verfertigten.

Apianus (geb. 1495, gest. 1552) der Kais. Astronom Carl's V., wurde durch die Unterstützung seines hohen Gönners in den Stand gesetzt, dieses Instrument sehr zu vervollkommnen, und er glaubte einen so grofsen Werth darin zu finden, dafs er durch ihre Hülfe sogar alle astronomische Rechnungen entbehrlich machen wollte. Man sieht, dafs dieses mehr sogenannte Planetolabien oder Armillarsphären, als einfache Globen gewesen sind. Er beschreibt dieselben in seinem Werke: *Astronomicum Caesareum*, Ingolstadt, 1540. Aber Keppler beklagt den Scharfsinn, den Arian auf dieses Instrument verwendet hat. *Deploro*, sagt er in s. Werke de *Stella Martis* P. II. Cap. XIV., *miserabilem* Apiani *industriam, qua tot bonas horas impendit et tot ingeniosissimas meditationes perdidit, ut spiris et corollis et helicibus exprimeret, quae natura pro suis plane non agnoscit. Sed ostendit, se divinis ingenii perspicacissimi dotibus facile naturae parem esse potuisse.* Auch Gerhard Mercator (geb. 1512) verfertigte für Kaiser Carl V. vorzüglich zwei gröfsere Globen, von welchen der eine von Krystall gewesen seyn soll.

Die geschätztesten der alten Globen sind die von Wilhelm Jansen Blaev, einem Schüler Tycho's und Keppler's, der in Amsterdam lebte, und nach ihnen die des Franciscaner-

---

1 Bode's astronom. Jahrbuch. 1808. S. 97.
2 Fast. L. VI. v. 277.
3 Geogr. Lib. II.

Digitized by Google

Mönchs Coronelli im Anfange des 17. Jahrhunderts. Die letztern bilden jetzt noch die Zierde mancher grofsen Bibliothek und gehören zu den besten und schönsten, die je verfertigt wurden.

Im 17. Jahrhunderte schien man einen besondern Werth auf sehr grofse Globen zu legen, während man sie jetzt als unbequem den kleinern nachsetzt, da man durch die letztern, wenn sie anders nur richtig ausgeführt sind, ganz ebenso gut, wie durch jene, diejenigen Zwecke (Sternkenntnifs u. dgl.) erreichen kann, für welche diese Instrumente allein bestimmt sind. Erhard Weigel (gest. 1699 zu Leipzig) hat mehrere Globen von beträchtlicher Gröfse ausgeführt. Am berühmtesten aber ist der geworden, den Friedrich, Herzog von Holstein, durch Adam Olearius im Jahre 1654 verfertigen liefs. Er wurde in dem Schlosse Gottorp bei der Stadt Schleswig aufgestellt und ist allgemein unter dem Namen des *Gottorp'schen Globus* bekannt. Er ist jetzt in Petersburg, wohin ihn Peter der Grofse bringen liefs, der ihn von dem Herzoge im Jahre 1713 zum Geschenk erhielt. Der Durchmesser dieses Riesenglobus beträgt ungefähr 11 Fufs, so dafs er mehrere Personen in sich aufnehmen kann. Er ist, wie die meisten der Weigel'schen Globen, von getriebenem Kupferbleche und die Gestirne sind durch kleine Löcher in der Oberfläche der Kugel dargestellt, so dafs, wenn derselbe von aufsen beleuchtet wird, die in der Kugel stehenden Personen die Sterne als lichte Puncte auf dem dunkeln Grunde der Kugelschale erblicken. Der gröfste Globus, den wir kennen, wird in der k. Bibliothek zu Marly aufbewahrt. Er hat einen Durchmesser von 12 par. Fufs. Da er aber, wie so viele andere dieser Art, durch seine Ausführung nicht ausgezeichnet und überdiefs blofs mit freier Hand beschrieben, nicht gestochen ist, so verdient er keine besondere Rücksicht. Der eigentliche Werth dieser und ähnlicher Instrumente, wie der Armillarsphären, der Planeten- und Mond-Scheiben u. dgl., besteht doch nur in dem Gebrauche, den man davon in dem ersten Unterrichte der Sternkunde, zur Erleichterung der Vorstellung, zur Kenntnifs der Sternbilder u. dgl. machen kann. Was über diesen Zweck hinausgeht, ist Luxus und geht für die Wissenschaft selbst verloren, daher auch Lichtenberg diese oft sehr complicirten Instrumente, durch welche man früher so gern die Bewegungen der Gestirne und der Planeten vorstellen wollte, so

viel Scharfsinn auch darauf verwendet worden ist, sämmtlich zu der Familie der Bratenwender, zu den blofsen unnützen Cabinetstücken gezählt hat.

Zu diesem Zwecke des Unterrichts, wenn auch in Beziehung auf ihre Ausführung nicht eben lobenswürdig, waren besonders geschickt die Globen, die Hoffmann in Nürnberg gegen das Jahr 1730 in so grofser Anzahl verfertigte, dafs sie sich bald über ganz Deutschland zerstreuten und selbst in den kleinsten Städten bekannt wurden. Besser gearbeitet waren die zu derselben Absicht verfertigten Globen von Bayer, Vaugondy und jene, die de l'Isle um das Jahr 1740 in Paris herausgab. Auch Lalande gab 1775 Himmelsgloben bei Lattré und Messier 1780 andere bei Fortin in Paris heraus, die zu ihrer Zeit sehr geschätzt wurden. Als vorzüglich in Beziehung auf Genauigkeit und Schönheit der Ausführung werden die Globen von Adams in London gelobt, die aber zu theuer sind, um auf dem Festlande sehr verbreitet zu werden. Zu Ende des verflossenen Jahrhunderts rühmte man besonders die, welche Fortin und la Marche in Paris verfertigten, die einen Fufs im Durchmesser haben. Bode in Berlin besorgte andere Globen von derselben Gröfse im Jahre 1790 in Nürnberg durch den Mechaniker Beringer und den geschickten Kupferstecher Franz. Endlich erschienen im Jahre 1828 bei Mollo in Wien Globen von einem Fufs und andere von 8 Zoll im Durchmesser, die mit Umsicht und Sorgfalt verfertigt und zum Unterrichte ganz besonders geeignet scheinen.

Statt der Kugel, deren Ausführung dem Mechaniker sowohl als auch dem Zeichner mehrere Schwierigkeiten darbietet, hat man auch andere Körper gewählt, die von jenen Hindernissen mehr oder weniger frei sind, z. B. *Polyeder* oder *Kegel*, welche die Kugel ringsum berühren. *Sternkegel* dieser Art gab schon Zimmermann im Jahre 1692 heraus und Klügel lieferte von denselben im Jahre 1770 zu Hamburg eine nähere Beschreibung und Anleitung zu ihrem Gebrauche. Unter den neuern Sternkegeln dieser Art haben sich vorzüglich diejenigen ausgezeichnet, die Funk im Jahre 1777 zu Leipzig herausgegeben hat. Sie stellen die Oberfläche des Himmels natürlich nicht mehr so genau wie eine Kugel, aber doch immer noch angemessener und zum Unterrichte geeig-

neter vor, als die Planisphären oder die platten Scheiben, die man zu demselben Zwecke erfunden hat.

Uebrigens kann hier noch bemerkt werden, dafs die meisten dieser Sterncharten und Sterngloben, selbst viele der bessern nicht ausgenommen, an einem gemeinschaftlichen Uebel leiden, das sich doch so leicht vermeiden liefse. Sie enthalten beinahe alle *zu viele Sterne* und die *Figuren* der Sternbilder sind durch die Zeichner zu stark hervorgehoben. Die meisten dieser Charten, etwa die Uranographie von Bode, den Atlas von Harding oder die oben erwähnten Charten der Berliner Akademie ausgenommen, sind nicht für den eigentlichen Astronomen, sondern nur für die Freunde der Wissenschaft und des gestirnten Himmels, also für den ersten Unterricht in der Astrognosie bestimmt. Für diesen ist es aber vollkommen hinreichend, wenn blofs die Sterne der vier ersten Gröfsen angegeben werden, mit Ausschlufs derjenigen, welche die Astronomen mit 4 und 5 zu bezeichnen pflegen. Jener sind aber nahe 400, und sie reichen für Globen von einem Fufs im Durchmesser mehr als hin, um den dabei verlangten Zweck zu erreichen. Für kleinere Globen sollte man selbst noch die meisten der vierten Gröfse weglassen und der Globus wird dadurch nur desto brauchbarer und bequemer werden. Selbst die meisten Astronomen sind zufrieden, wenn sie alle Fixsterne bis zur vierten Gröfse eingeschlossen auf den blofsen Anblick derselben erkennen. Für die zwischen ihnen liegenden kleinern Sterne gehn sie nur selten zu den für sie bestimmten detaillirten Charten, noch weniger aber zu gröfsern Globen, sondern zu ihren Sternkatalogen von Piazzi, zu der *Histoire céleste* oder zu Bessel's Zonen, wo sie die Positionen dieser Sterne viel genauer, als durch jene Mittel finden können. Noch schädlicher als diese Ueberladung von Sternen ist für die meisten Globen die Art, mit welcher die Zeichner die verschiedenen Figuren der Sternbilder darstellen. Haare, Mähnen, Kleidungsstücke, Faltenwürfe und Verzierungen aller Art, sogar Licht und Schatten, können nicht stark und auffallend genug hervorgehoben werden, als ob diese Dinge die Hauptsache wären, da sie doch so unbedeutend sind, dafs ein blofser Umrifs, mit wenigen feinen Strichen angedeutet, schon hinreicht, das Sternbild zu erkennen, und mehr als dieses Erkennen sucht doch Niemand auf dem Glo-

Digitized by Google

bus. Die eigentliche Hauptsache sind doch wohl die *Sterne* selbst und *diese* sollten daher so viel als möglich hervorgehoben werden. Der Globus soll dem ihn betrachtenden Auge in Beziehung auf die Hauptgegenstände des Himmels ganz denselben Eindruck gewähren als der Himmel selbst. Jene weithin wallenden Kleider, jene so stark gezeichneten Mähnen, Flügel, Fahnen u. dgl. m. können aber jenen Haupteindruck, den der Globus hervorbringen soll, nur hindern, so wie die vielen, ebenfalls zu stark ausgedrückten Namen, die man den Sternbildern und den einzelnen Sternen so oft beigedruckt sieht. Jeder, der den gestirnten Himmel auch ganz gedankenlos betrachtet, wird sogleich mehrere, dem ersten Blicke schon auffallende Gruppirungen der Fixsterne bemerken, den ausgezeichneten grofsen Bären und sein getreues Miniaturbild, den kleinen Bären, den Kreis der nördlichen Krone, die gerade Linie des Jakobsstabes im Orion, das grofse gleichschenklige Dreieck von Wega, Deneb und Atair und so viele andere mehr. Dieselben Dinge und ebenso auf den ersten Blick schon in die Augen fallend soll er nun auch auf dem Globus erblicken. Aber wie viel fehlt bei den meisten derselben, dafs sie das in der That thun, dafs sie in der That sind, was sie allein seyn sollen, eine getreue Copie, ein richtiges Porträt des Himmels. So verwirrt und verhudelt, selbst durch die sorgfältigsten Zeichnungen und durch diese gewöhnlich am meisten, so entstellt ist dieses sogenannte Porträt durch Dinge aller Art, deren Niemand bedarf, dafs man oft nur mit Mühe diejenige Aehnlichkeit aus dem Schutte so vieler heterogenen Dinge herausfinden kann, die man allein sucht, weil man sie allein gebraucht und weil alles andere unnützer, ja schädlicher Zusatz ist, so schädlich, dafs ich keinen Anstand nehmen würde, zum Unterrichte für andere einen Globus, auf welchen man jenen ersten Eindruck des Himmels auch nur nach dem sogenannten Augenmafse, aber getreu und ohne fremde Beimischung dargestellt hätte, jedem andern vorzuziehen, auf welchem die Sterne nach den neuesten Bestimmungen mit der gröfsten Präcision eingetragen und die Verzierungen der Sternbilder auch von der Hand des gröfsten Meisters ausgeführt worden sind.

L.

Sternschnuppe.

Sternputze, Sternschnäuze, Sternschufs; *Stella cadens;* Étoile tombante; *Star-shoot, shooting or flying or falling star.*

Die Meteore, die man mit diesem Namen bezeichnet, gehören unter die allergemeinsten und es giebt schwerlich Jemanden, der nicht zahlreiche, ja man darf wohl sagen zahllose derselben gesehn hätte. Wenn man von der ungleichen Gröfse derselben abstrahirt, so besteht das Phänomen im Allgemeinen darin, dafs ein leuchtender Punct einem Sterne ähnlich, entweder lothrecht oder in geneigter Richtung, geradlinig sowohl, als auch in gekrümmter Bahn am Himmel, dem Scheine nach vom Himmel herabfällt und in bald gröfserer, bald geringerer Tiefe verschwindet. Einige derselben zeigen hierbei eine leuchtende Bahn, welche entweder von ihnen getrennt ist, oder mit ihnen zusammenhängt und ohne Ausnahme erst nach ihrem Verschwinden, in kürzerer oder längerer, bis zu einigen Secunden dauernder Zeit gleichfalls erlöscht.

Ein so alltägliches Phänomen würde für eine eigentliche Untersuchung kein genügendes Interesse darbieten, wenn nicht die Erklärung desselben bedeutenden Schwierigkeiten unterläge, die noch keineswegs vollständig beseitigt sind, und aus dieser Ursache ist es daher nöthig, die Thatsachen zuvor gehörig festzustellen. Benzenberg und hauptsächlich W. Brandes haben vorzugsweise diesen Meteoren viele Aufmerksamkeit gewidmet[1]. Nach ihnen giebt es drei Classen. Zu den ersten gehören die der ersten und zweiten Gröfse, den Feuerkugeln ähnlich, bei denen eine Kugel unterschieden wird, die von dem nachfolgenden und nach dem Verschwinden noch einige Zeit leuchtenden Schweife, welcher auch als ihre leuchtend gewordene Bahn erscheint, meistens etwas getrennt sind. Zu der zweiten gehören die der ersten und zweiten Gröfse, jedoch ohne Kugel mit einer leuchtenden Bahn, die nach dem Verschwinden des bewegten Punctes vom äufsersten Ende an-

1 Benzenberg und Brandes Versuch die Entfernung, die Geschwindigkeit und die Bahn der Sternschnuppen zu bestimmen. Hamb. 1808. 8.

fangend bald erlöscht. Die noch kleinern bis zur sechsten Gröfse und die teleskopischen, die mit Kometensuchern beobachtet werden, gehören zur dritten Classe. Aehnliche Unterschiede haben auch andere Beobachter, z. B. John Farat und William Bevan angenommen[1], auch erwähnt Olbers[2] des von der vorauseilenden Kugel getrennten Schweifes.

Da der mit diesen Meteoren so vorzüglich bekannte Brandes bereits von den *Feuerkugeln* gehandelt hat[3], die sich von den Sternschnuppen blofs durch ihre Gröfse unterscheiden, jedoch so, dafs sich unmöglich die Grenze zwischen beiden genau angeben läfst, so werde ich mich zunächst nur auf diejenigen Erscheinungen einlassen, die man meistens Sternschnuppen zu nennen pflegt, und mich dabei auf die wichtigsten Thatsachen beschränken, da die Berechnung ihrer Bahn und ihrer Höhe, sowie die Hypothesen über ihren Ursprung an jenem Orte bereits berücksichtigt worden sind. Zuerst verdient Beachtung, dafs diese Meteore zwar blofs bei Nacht gesehn zu werden pflegen, allein hiervon liegt ohne Zweifel der Grund blofs darin, dafs sie am Tage der herrschenden Helligkeit wegen ebenso wenig als die Sterne sichtbar seyn können. Inzwischen sah Hansteen[4] am 23. Aug. 1823 um Mittag eine Sternschnuppe durch das Feld seines Fernrohrs gehn und wir müssen hiernach schliefsen, dafs sie allen Tagszeiten gleichmäfsig angehören. Dick meint zwar, die Erscheinung sey durch einen vorüberfliegenden Vogel oder ein Insect veranlafst worden, allein ähnliche Beobachtungen entfernter leuchtender Massen sind mehrmals gemacht worden und es ist aufserdem gar kein Grund vorhanden, weswegen man das Erscheinen der Sternschnuppen blofs auf die Zeit der Nacht beschränken sollte[5], da in der Tageshelle ein genügender Grund ihrer Unsichtbarkeit zu dieser Zeit liegt.

---

1 Nicholson's Journ. T. XXXIV. p. 298.

2 Voigt's Mag. Th. V. S. 58.

3 S. diesen Art. Bd. IV. S. 209.

4 Phil. Magaz. T. LXV. p. 394. Aus Magazin for Naturvidenskaberne 1823. p. 314.

5 Gassendi Physic. Sect. III. L. 2. cap. 4. erwähnt an einem heitern Vormittage eine Sternschnuppe gesehn zu haben. Vergl. Bode astronom. Jahrb. 1816. S. 148. Arago in Ann. Chim. Phys. T. XXX. p. 416. Poggendorff Ann. VI. 244.

Digitized by Google

Dafs die Sternschnuppen unter mittlern Breiten ohne Unterschied sehr häufig gesehn werden, ist bekannt, aber auch unter niedern Breiten wurden sie gleich zahlreich beobachtet, wenigstens erwähnen die Reisenden nicht, dafs ihnen in dieser Beziehung ein Unterschied aufgefallen sey und auf gleiche Weise verhält es sich im hohen Norden. Namentlich erwähnt Erman[1] diesen Umstand ausdrücklich und Wrangel[2] sah sie nicht blofs zugleich mit Nordlichtern, sondern auch häufig durch die Strahlen dieser Meteore schiefsen. Im Ganzen ist ihre Zahl sehr grofs, jedoch erscheinen sie nicht allezeit in gleicher Menge, denn oft erwartet man sie bei absichtlicher Beobachtung lange Zeit vergebens, zuweilen aber folgen deren mehrere in kurzen Zeiträumen auf einander, ohne dafs man ihnen besondere Aufmerksamkeit widmet. Von ihrer mitunter unglaublich grofsen Zahl zeugt die Angabe von Brandes[3], dafs er einmal in einer Nacht am fünften Theile des Horizonts deren 480 sah, wonach er ihre Menge während dieser Zeit im Ganzen auf mehrere Tausende schätzt, nach Benzenberg[4] aber kann man im Mittel jede Nacht ihre Zahl zu 30 bis 50 und noch darüber annehmen. In einigen wenigen, der Aufmerksamkeit vorzüglich werthen Fällen war ihre Menge wahrhaft bis zum Erstaunen grofs. Ein Zusammenhang derselben mit den Jahrszeiten scheint sich nicht zu zeigen, jedoch führen einige Beobachtungen allerdings zu dem Resultate, dafs sie im Herbste am häufigsten gesehn werden, die Witterung dagegen hat keinen weitern Einfluſs auf dieselben, als dafs sie bei trübem Himmel minder leicht sichtbar sind, und Brandes[5] erwähnt in dieser Beziehung namentlich, dafs er bei heftiger Kälte am 6. Dec. 1798 deren ebenso viele gesehn habe, als an den milden Sommerabenden des 10. und 11. Aug. 1823. Die in diesem Jahre häufig angestellten

---

1 Reise um die Erde u. s. w. Berl. 1833. Bd. I. S. 693.

2 Physikalische Beobachtungen u. s. w. Herausg. von Parrot. Berl. 1827. S. 59.

3 G. III. 231.

4 G. VII. 483.

5 Unterhaltungen für Freunde d. Physik und Astronomie. Lpz. 1825. Hft. 1. S. 65. Auch Kraft sah am 25. Nov. 1741 zu Petersburg bei strenger Kälte eine sehr grofse Menge Sternschnuppen. Praelect. Phys. T. III. p. 320.

Digitized by Google

Beobachtungen ergaben zugleich, dafs an wolkenfreien Abenden selten 20 Minuten vergehn, ohne dafs man eine Sternschnuppe wahrnimmt.

Vorzügliche Aufmerksamkeit verdient der Schweif, welcher sich hinter den gröfsern Sternschnuppen herzieht. Man könnte dabei leicht auf die Idee kommen, dafs derselbe blofs auf der Fortdauer des Lichtreizes auf die Retina beruhe, allein schon im Allgemeinen erhält sich derselbe länger und ist das allmälige Erlöschen anders, als dieser Erklärung gemäfs seyn würde, namentlich aber ist die genau beschriebene Dauer, die Lichtstärke und die allmälige Krümmung nach der Beobachtung von Droysen[1] hiermit ganz unvereinbar, wie nicht minder die Thatsache, dafs man zuweilen den Schweif ohne die Kugel erblickt[2]. Insbesondere hat Brandes[3] die merkwürdigen Erscheinungen, welche diese Schweife darbieten, scharf aufgefafst und genau beschrieben. „Er ist gewöhnlich länger sichtbar, als die Sternschnuppe selbst, und auch „sein Verschwinden geschieht meistens nicht so plötzlich, als „das des Kerns. Fast allezeit hörte mit dem Verschwinden „des Kerns die Bewegung des Schweifes auf, sehr selten rückte „er allein noch fort und nur einmal sahen wir einen Schweif, „der nach etwa 15 Secunden Dauer sich seitwärts krümmte, „und sich gleichsam zusammenzurollen schien. Sein Licht ist „gewöhnlich viel blasser als das des Kerns; es schien zuweilen an den Seiten des Schweifs stärker, als in der Mitte, „und insbesondere bemerkte man einigemal, dafs die Mitte „des Schweifes schon dunkel war, wenn beide Seiten noch „ihrer ganzen Länge nach sichtbar blieben. Sehr oft erstreckt „der Schweif sich nicht bis zur Sternschnuppe, sondern zwischen beiden ist gewöhnlich ein beträchtlich dunkler Raum, „wodurch der Schweif ganz das Ansehn verliert, als ob es „blofs zurückgebliebene Theile des Kerns wären; eher schien „diese Erscheinung auf die Idee zu leiten, dafs hier ein Prozefs eingeleitet werde, der einen Augenblick Zeit bedürfe, „um in rechten Gang zu kommen.“ Hierin sind so ziemlich alle Modificationen angegeben, die bei diesem Phänomene sich

---

1 G. X. 370.
2 Brandes in G. XIV. 251.
3 Ebend. VI. 229.

zeigen, und inwiefern diese bei der Erklärung Berücksichtigung verdienen und zugleich die hierüber gemachten Versuche bedeutend erschweren, ist bereits im Art. *Feuerkugel* näher angegeben.

Die Höhe der Sternschnuppen ist sehr ungleich, einige derselben scheinen der Erde sehr nahe zu seyn, andere aber sind weit höher, als wohin die äufserste Grenze der Atmosphäre reicht, wenn man diese zu etwa 27 bis 30 geographischen Meilen hoch annimmt[1]. Aus denjenigen, was einzelne Beobachter wahrnehmen, läfst sich kein genügendes Resultat erhalten, denn dieses gewährt nur Täuschung, vielmehr müssen aus mindestens zwei Puncten auf der Erde, deren Entfernungen von einander bekannt sind, die Winkel gefunden werden, die zwei aus diesen Orten gleichzeitig nach ihnen gezogene Gesichtslinien einschliefsen, wobei dann die Berechnung des hierdurch gegebenen Dreiecks zur genauen Bestimmung ihrer Höhe dient. Um dieses wichtige Problem haben sich zuerst Benzenberg und Brandes, später der letztere in Verbindung mit einigen zu gleichzeitigen Beobachtungen aufgeforderten astronomischen Freunden grofse Verdienste erworben. Als Resultat der ersten Reihe von Beobachtungen[2] ergab sich, dafs eine der gesehenen Sternschnuppen eine Höhe von mehr als 30 geographischen Meilen hatte, die übrigen waren jedoch niedriger, nämlich von 23 bis 3,5 Meilen. Die zweite ungleich wichtigere Reihe von Beobachtungen[3], die im Jahre 1823 erhalten wurden, wobei der Hauptpunct Breslau und der hiervon am weitesten entfernte Dresden 3° 13′ westlich war, ergiebt als Höhen für 4 zwischen 1 bis 3 Meilen, für 15 zwischen 3 bis 6 Meilen, für 22 von 6 bis 10 Meilen, für 35 zwischen 10 bis 15 Meilen, für 13 zwischen 15 bis 20 Meilen, für 11 über 20 Meilen und zwar 3 von etwa 30, eine von 45,7, eine von etwa 60 und eine über 100 Meilen. Unter den 36 berechneten Bahnen gingen 26 mit gröfserer oder geringerer Abweichung von der Vertical-Linie herabwärts, 9 aufwärts[4], und zwar betrug der Neigungs-

---

1 Vergl. *Atmosphäre*. Bd. I. S. 446.

2 Benzenberg und Brandes a. a. O. Vergl. G. VI. 227.

3 Unterhaltungen für Freunde der Physik und Astronomie. 1stes Heft. Leipz. 1825.

4 Aufwärts steigende Sternschnuppen hat Brandes schon früher

winkel gegen den Horizont 16°, 68°, 45°, 39°, 10°, 6°, 6°, 39° und 14°, eine endlich war horizontal. Als merkwürdigstes Resultat geht aus diesen Beobachtungen hervor, dafs bei weitem die meisten Bahnen eine südwestliche Richtung hatten, mithin eine der Bewegung unserer Erde im Weltraume entgegengesetzte[1]. Die Geschwindigkeit der Sternschnuppen ergab sich aus diesen Beobachtungen zwischen 4 und 8 Meilen in einer Secunde und sie erreichen sonach fast die doppelte unserer Erde im Weltraume, auch waren die niedrigsten zugleich die kleinsten.

Auf welche Weise ihre Höhen aus dem parallaktischen Winkel und zugleich ihre Bahnen durch Berechnung gefunden werden, hat zuerst Olbers[2] gezeigt, Brandes[3] hat diese Aufgabe weiter behandelt und später[4] zum Behuf der praktischen Anwendung nicht blofs die Methode der Beobachtung genau angegeben, sondern auch die Art der Berechnung durch eine Figur und durch Beispiele erläutert. Da sich aber die Formeln im Art. *Feuerkugel* von ihm selbst bereits mitgetheilt befinden, so halte ich es für genügend, hierauf zu verweisen.

Noch verdienen einige vorzüglich merkwürdige Erscheinungen von Sternschnuppen besonders erwähnt zu werden. Hierhin gehört vor allen Dingen diejenige vom 12. Nov. 1799 kurz vor Sonnenaufgang, wobei eine wahrhaft unglaubliche Menge gröfserer und kleinerer Sternschnuppen mit und ohne Schweife anhaltend herabfielen und zugleich aus solchen Höhen, dafs das Phänomen gleichzeitig zu Cumana durch Bonpland, zu Portobello, Guiana, Bahama, Nain in Labrador, Lichtenau in Grönland und zu Itterstädt bei Weimar gesehn wurde, was eine Höhe von mindestens 410 Meilen erfordert.

---

beobachtet, s. G. XIV. 251. Chladni aber bringt eine Menge ältere und neuere Beispiele bei von Feuerkugeln, welche aufstiegen, ja sogar von solchen, die nach dem Herabfallen wieder aufstiegen, sich in Curven und selbst im Zickzack bewegten. S. G. LVIII. 23.

1 Vergl. Edinb. New Phil. Journ. N. I. p. 124.

2 Benzenberg über die Bestimmung d. geograph. Länge durch Sternschnuppen. Hamb. 1802.

3 Voigt Magaz. Bd. VI. S. 297.

4 Unterhaltungen für Freunde d. Phys. u. s. w. S. 15. Vergl. G. LXXII. 284. Formeln von Mollweide ebendaselbst 321 und LXXV. 211.

Die Erzählung von dem, was an den beiden entferntesten Puncten gleichzeitig von vielen Personen gesehn wurde, stimmt so genau überein, dafs an der Identität des Gesehenen gar nicht gezweifelt werden kann. Nach v. Humboldt[1] folgten Tausende von Feuerkugeln und Sternschnuppen einander 4 Stunden lang; sie nahmen ihre Richtung von Nord nach Süd und füllten am Himmel einen Ort, welcher gerade von Osten aus sich an jeder Seite bis 30 Grade hin erstreckte. Sie stiegen ost-nordöstlich und östlich über den Horizont, beschrieben ungleich grofse Bogen und fielen im Süden herab; einige erreichten bis 40 Grad Höhe, alle über 25 bis 30. Sie liefsen sämmtlich leuchtende Spuren von 5 bis 10 Grad Länge zurück, deren Licht 7 oder 8 Secunden dauerte; einige derselben schienen zu bersten, die gröfsten jedoch verschwanden ohne Funkensprühen und manche hatten einen grofsen, dem Jupiter an Lichtglanz gleichen Kern, aus welchem Funken sprühten. Ihr Licht erschien weifs, was v. Humboldt zunächst für eine Folge des heitern Himmels zu Cumana hält, wo damals kein Wölkchen die Atmosphäre trübte. Gleichzeitig sah man zu Nain und Hoffenthal zahllose Feuerkugeln, deren einige eine halbe Elle im Durchmesser zu haben schienen[2], nach allen vier Himmelsgegenden zur Erde herabfallen. Die Erscheinung wurde auch zu Neu-Herrnhut und Lichtenau in Grönland auf eine Entfernung bis zu 100 Meilen über die Davis-Strafse hin gesehn und schreckte die Eskimos[3]. Chladni[4] hat aufgefunden, dafs auch im 5ten Jahre der Regierung Justinian's und im 23sten Jahre der Regierung des Constantinus Copronymus die grofse Menge der fallenden Sternschnuppen Schrecken erregte; auch wurde im Jahre 1090 die mehrere Nächte nach einander sich zeigende grofse Menge derselben der Aufzeichnung in den Chroniken werth gehalten. Als das auffallendste Beispiel ihrer gleichzeitigen unglaublichen

1 Reisen. D. Ueb. Th. II. S. 278.

2 Dafs leuchtende Körper oft gröfser zu seyn scheinen, als sie wirklich sind, ist bekannt und zeigt sich namentlich beim Blitzstrahle, dessen scheinbarer Durchmesser leicht auf zwei Minuten geschätzt wird, was bei zwei Meilen Entfernung 15 Fufs im Querschnitte geben würde.

3 G. XII. 217.

4 Ebend. LVIII. 294.

Menge ist wohl ohne Zweifel das oben angegebene zu betrachten, zugleich aber ist es merkwürdig, dafs in dem nämlichen Monate und fast auch denselben Tag, nämlich in der Nacht vom 12. auf den 13. Nov. 1832 gleichfalls anhaltend eine unglaubliche Menge gröfserer und kleinerer Sternschnuppen in allen Himmelsgegenden herabfielen, die gleichzeitig am untern Rheine in der Schweiz und an andern entfernten Orten beobachtet wurden[1]. Am Unterrhein wurden sie am anhaltendsten, von 9 Uhr Abends bis zur Morgenhelle gesehn, im Ganzen südlich; sie bewegten sich nach allen Richtungen, auf- und niederwärts, bogenförmig, einige mit langen gebogenen Schweifen, aus denen zuweilen Lichtbüschel seitwärts hervorschossen und von denen einige mit merklicher Lichtstärke selbst minutenlang leuchteten. Das Phänomen wurde auch in England, namentlich zu Portsmouth, Sheffield und Malvern, beobachtet, an welchem letztern Orte namentlich Mason während 5 Minuten 48 Sternschnuppen sah[2], in Frankreich an mehreren Orten im Dep. Calvados, de l'Orne und du Jura, namentlich zu Grenoble, in der Schweiz zu Genf, Lausanne und Bern, in Deutschland aufser am Niederrhein zu Frankfurt, Stuttgart und Carlsruhe, in Belgien zu Brüssel und Lüttich, am Rhein namentlich zu Bonn, Aachen und Düsseldorf, wo Custodis von 4 bis 7 Uhr Morgens 267 Sternschnuppen und darunter 40 bis 50 erster Gröfse sah, ferner an einzelnen Orten, als Berlin, Warschau, Riga, Petersburg, Odessa und Suczawa in der Bukowina, wo nach Rohrer[3] die zahlreichen Sternschnuppen einen förmlichen Feuerregen bildeten. Poggendorff[4] hat eine Nachricht aufgefunden, wonach diese Meteore sogar zu Sudsha im Gouvernement Kursk[5] von Dmitrjukow gesehn wurden. Dort verbreitete das Meteor einen den ganzen Horizont umgebenden Lichtschein; unter den nach allen Richtungen herabfallenden Sternschnuppen hatten einige scheinbar eine Breite wie die einer Hand, die

---

1 Nöggerath in Schweigg. N. Jahrb. Th. VI. S. 328. Th. VII. S. 283. Gautier in Bibl. univ. T. LI. p. 189.

2 Phil. Mag. 3. Ser. T. III. p. 37.

3 Baumgartner's Zeitschrift Th. II. S. 11.

4 Dessen Annalen Th. XXIX. S. 449.

5 Die Stadt gleiches Namens liegt nach Wisniewski unter 51° 43′ 11″ N. B. und 73° 55′ 11″ östl. L. von Paris.

scheinbare Länge einiger senkrechten Streifen erreichte bis 90 Grad. Die Bahn der meisten bildete spitze Winkel mit dem Horizonte, keine bewegte sich mit letzterem parallel, oft fielen einige zugleich herab, aber nie aus dem nämlichen Puncte, zuweilen setzten sie einige Minuten lang aus, die gröfsern erleuchteten einige Zeit hindurch einen beträchtlichen Theil des Horizontes und zersprangen mit Funkensprühen; die Bahnen, einige gekrümmt, erloschen allmälig. Die Dauer des ganzen Meteors war gleichfalls vom Abend, mindestens vor 3 Uhr Morgens, bis zum Tagwerden und im Anfange war die Erleuchtung am stärksten. Mehrere Augenzeugen wollen Lichtstreifen von der Gröfse eines Balkens gesehn, auch wahrgenommen haben, dafs einige auf das Eis fielen und mit Funkensprühen zerplatzten, ob aber das hier und auch am Rheine von einigen gehörte donnerähnliche Geräusch auf Täuschung beruhe, ist nicht wohl auszumitteln.

Die Merkwürdigkeit dieser meteorischen Erscheinungen wächst ausnehmend durch das Hinzukommen eines dritten ganz ähnlichen Falles, wovon anfangs nur aus öffentlichen Blättern eine unvollkommene Kunde erhalten war[1], eben jetzt aber eine sehr genaue Beschreibung bekannt geworden ist[2]. Denison Olmsted, Professor der Mathematik und Physik am Yale-College zu New-Haven, hat sich das Verdienst erworben, die darüber vorhandenen Beobachtungen mit grofsem Fleifse zu sammeln und mit umsichtiger Kritik zu prüfen, um die gewissen Thatsachen übersichtlich zusammenzustellen. Das Phänomen wurde gleichzeitig an sehr vielen Orten beobachtet, sehr vollständig zu Boston, New-Haven, Westpoint, Worthington, Annapolis, Emmitsburg, Frederick, Bowling-Green, Lynchburg, Salisbury und Augusta, minder vollständige Beobachtungen wurden erhalten aus Long-Island, Sound, Hartfort, New-York, Washington, Richmond, Niagara-Falls, Charlstown, Poland, Georgia, Macon, Natchez und aus andern Orten der vereinigten Staaten. Hierzu kommen noch die Nachrichten von Schiffen im mexicanischen Meerbusen, aus Halifax in Neu-Schottland, Matanzas auf Cuba und Kingston auf Jamaica, so dafs die Strecke, über welche diese Meteore

1 Poggendorff Ann. XXXI. 159.
2 Ebend. XXXIII. 189.

sichtbar waren, vom 18ten bis 43sten Breitengrade und vom 61sten bis zum 91sten Längengrade reicht, mithin beiläufig eine Fläche von 100000 Quadratmeilen ausmacht. Aus den einzelnen sehr speciellen Beschreibungen ergeben sich als allgemeine Resultate, dafs auch dieses Meteor die ganze Nacht vom 12. bis 13. Nov. 1833 sichtbar war und aus einem nordlichtähnlichen Scheine in der Gegend des Löwen bestand, aus welchem Hauptpuncte eine unglaubliche Menge eigentliche Sternschnuppen, leuchtende Linien, Feuerkugeln von verschiedener Gröfse und mit Schweifen nach allen Richtungen und unter verschiedenen Neigungen gegen den Horizont bis zur scheinbar horizontalen Richtung der Bahnen herabfielen. Einige der Schweife und leuchtenden Linien waren gekrümmt oder wurden dieses erst nach ihrer Bildung, auch war die Dauer ihres Leuchtens verschieden. Die Zahl der herabfallenden Meteore war nicht jederzeit gleich, sondern vermehrte und verminderte sich in regellosen Perioden, im Ganzen aber darf sie unermefslich grofs genannt werden. Nach dem Berichte eines Beobachters zu Boston, dessen Angaben Olmsted jedoch für zu gering hält, fielen gegen 6 Uhr (also nicht zur Zeit des Maximums) während 15 Minuten etwa am 10ten Theile des Himmels 650 von ihm gezählte, wonach für den ganzen Himmel in dieser Zeit 8660 angenommen werden. Dieses würde für eine Stunde 34610 und für die ganze Dauer des Phänomens, diese nur zu 6 Stunden angenommen, nicht weniger als 207840 geben. Rücksichtlich der Höhe wird allgemein angegeben, dafs sie nur gering gewesen sey und dafs sehr viele die Erde erreicht hätten, was jedoch nur beweist, dafs sie scheinbar nicht hoch über dem Horizonte erloschen. Dafs die atmosphärische Elektricität damals stark war, darf als eine Folge der reinen Luft und des Ueberganges zur Kälte betrachtet werden, wenn aber einige Beobachter eine Aehnlichkeit des leuchtenden Hauptpunctes mit der Nordlichtkrone wahrzunehmen vermeinten, so bemerkt Olmsted richtig, dafs der erstere nicht an derjenigen Stelle sich befand, wo die letztere hätte zum Vorschein kommen müssen. Der wichtigste Umstand ist ohne Zweifel der, dafs bei weitem die meisten Beobachter die Bahnen aller dieser Meteore von einem gemeinsamen Puncte am Himmel ausgehn lassen, den sie mit genügender Uebereinstimmung in das Sternbild des Löwen

Digitized by Google

setzen, wo derselbe auch während der ganzen Dauer unverrückt blieb, welches nach einigen ganz bestimmt der Fall war, so dafs hiernach also diese Meteore an der Bewegung der Erde keinen Theil nahmen, mithin nur kosmischen Ursprungs seyn konnten. Die verschiedene Richtung der Bahnen, die auf optischen Täuschungen beruht, steht hiermit durchaus nicht im Widerspruche. Bei so bestimmten Anzeichen hat Enke es der Mühe werth erachtet, genauer zu erforschen, ob der Hauptpunct der Erscheinung in der Richtung der Erdbahn gelegen habe, was allerdings genau genug der Fall war und daher bei der mehrmaligen Wiederkehr des nämlichen Phänomens an einem und demselben Tage allerdings zu der Vermuthung führt, dafs die Erde gerade um diese Zeit eine mit der Substanz der Sternschnuppen erfüllte Gegend im Weltraume treffe. Ein Geräusch, ein Brausen und Zerplatzen haben zwar nur wenige Beobachter wahrgenommen, aber doch so viele, dafs die Thatsache mindestens einige Wahrscheinlichkeit dadurch erhält, und ebenso ist es wahrhaft seltsam, dafs mehrere Personen eine herabgefallene gallertartige Materie wahrgenommen oder am andern Morgen gefunden zu haben versichern.

Man hat oft die Frage aufgeworfen, woraus die Sternschnuppen bestehn? Die Beantwortung derselben hängt hauptsächlich von der Entscheidung einer andern ab, nämlich ob sie mit den Feuerkugeln und namentlich mit denen, aus welchen die Meteorsteine herabfallen, dem Wesen nach identisch sind? Hierfür entscheiden allerdings so triftige Gründe, dafs man nicht wohl im Stande ist, diese zu bezweifeln. Dahin ist vorzüglich zu rechnen, dafs die Sternschnuppen ohne eine bestimmte Grenzscheidung von den kleinsten zu den gröfsern, bis zu den gröfsten Meteorsteine gebenden Feuerkugeln übergehn, insofern es auch nur mäfsig grofse Sternschnuppen mit Schweifen giebt, und dafs die kleinsten schnell verschwindenden Schweife der Sternschnuppen durch alle Abstufungen bis zu den gröfsten gelangen, gleichsam als solle jeder Unterschied zwischen ihnen gänzlich aufgehoben werden. Allerdings sind die gröfsern Feuerkugeln bei weitem die seltensten, allein dieses liegt in der Natur der Sache, und aufserdem giebt es Fälle, wie namentlich die zuletzt beschriebenen, in denen Sternschnuppen und Feuerkugeln von sehr ungleicher Gröfse gleich-

Digitized by Google

zeitig und mit einander vermengt herabfielen. Endlich sind alle Umstände des Erscheinens beider Arten von Meteoren, die Zeit und Dauer ihres Fallens, ihre Bahnen, die Gestalt ihrer Schweife, die Art des Leuchtens und des Verschwindens durchaus gleich, so dafs ein auf bestimmte Merkmale gegründeter Unterschied, wenn man den der ungleichen Gröfse als beseitigt ansieht, auf keine Weise nachgewiesen werden kann. Müssen wir demnach die Sternschnuppen mit den Feuerkugeln dem Wesen nach für identisch halten, so sind die Hypothesen zur Erklärung dieser Meteore bereits im Artikel *Feuerkugel* erörtert worden, und was sich noch als Ergänzung beibringen läfst, kann füglicher mit dem Artikel *Meteorsteine* verbunden werden, da diese Körper für die Erklärung des Phänomens ein wichtiges Moment abgeben.

M.

Sternzeit.

Jede gleichförmige Bewegung kann uns als ein Mittel dienen, die Zeit zu messen, von der wir annehmen müssen, dafs sie ebenfalls gleichförmig fortschreitet. So brauchen wir unsere Uhren als Zeitmesser (*Chronometer*), wenn wir voraussetzen dürfen, dafs ihr Gang vollkommen gleichförmig, d. h. dafs die Uhr in der That gut ist. Allein wie versichert man sich davon? Durch die grofse Himmelsuhr über uns, durch den gestirnten Himmel, von dem wir annehmen, dafs er täglich mit der vollkommensten Gleichförmigkeit sich um unsere Erde von Ost gen West bewegt. Eigentlich bewegt sich zwar, wie bekannt, die Erde selbst täglich um ihre Axe von West gen Ost und bringt dadurch jene Erscheinung hervor. Allein daran ist hier nichts gelegen, da diese Erscheinung für uns immer dieselbe bleibt, es mag sich der Himmel um die Erde oder die Erde um sich selbst bewegen. Dasjenige, worauf es hier allein ankommt, ist nur die *vollkommene Gleichförmigkeit* der einen oder der andern dieser Bewegungen. Wenn diese Gleichförmigkeit nicht statt haben sollte, so ist es mit unsrer Himmelsuhr nichts, und also auch ebenso viel mit unsern Pendel- und Taschenuhren, da wir diese nicht weiter mit einer gleichförmigen Bewegung vergleichen, da wir also nicht einmal, selbst wenn sie zufällig gut gehn sollten, uns

Digitized by Google

von diesem guten Gange derselben überzeugen könnten. Ja selbst unsere ganze praktische Astronomie fällt in ihr Nichts zurück, da sie ganz und gar auf der Zeitbestimmung beruht. In der That, darin unterscheidet sich das Geschäft des Astronomen von dem des Geodäten oder des Trigonometers. Der Letztere hat alles gethan, wenn er die Höhe eines Berges über seinem Horizonte oder wenn er den Winkel, den zwei Thurmspitzen in seinem Auge bilden, mit aller Genauigkeit gemessen hat, da diese Berge und Thürme ihren Ort auf der Erde nicht ändern. Ganz anders ist es am Himmel, wo sich alles ändert und wo schon in dem nächsten Augenblicke kein Gestirn mehr auf der Stelle ist, die es so eben eingenommen hatte. Die Höhen, die Azimuthe, die Distanzen dieser Gestirne verändern sich ohne Unterlafs, und wer z. B. die Höhe der Sonne auch aufs beste beobachtet hat, hat nichts gethan, wenn er nicht zugleich die *Zeit* anzugeben weifs, in welcher er diese Beobachtung gemacht hat.

Zu dieser Angabe, zu dieser *Zeitbestimmung* dient uns also der Himmel selbst, da er sich täglich mit der gröfsten Gleichförmigkeit um uns bewegt. Und woher wissen wir denn das? Wir wissen es eigentlich nicht, sondern wir setzen es voraus. Und es würde sehr übel um uns stehn, wenn diese Voraussetzung nicht richtig seyn sollte. Denn nicht nur die ganze Astronomie, wie wir so eben gesehn haben, sondern auch unsere Chronologie, unser ganzes Kalenderwesen, selbst unsere gemeinsten Geschäfte, die doch beinahe alle an eine gewisse Zeit gebunden sind, würden einer gänzlichen, einer heillosen Verwirrung entgegen gehn, wenn nun kein Jahr dem andern, kein Tag dem andern gleich wäre und wenn sogar die einzelnen Stunden des Tages bald länger und bald wieder, wie es ihnen beliebte, kürzer werden sollten.

Glücklicher Weise scheint dieses nicht zu befürchten zu seyn. Zwar haben wir keinen eigentlichen Beweis von jener Gleichförmigkeit der Bewegung des Himmels oder vielmehr unserer Erde, aber alles vereinigt sich dahin, uns darüber zu beruhigen, und je weiter wir in der Kenntnifs dieser Bewegung fortschreiten, desto gröfser wird auch die Wahrscheinlichkeit jener Voraussetzung. Die Theorie, die höhere Mechanik zeigt uns, dafs die tägliche Bewegung der Erde um eine ihrer Hauptaxen vor sich geht und dafs diese Hauptaxe

unveränderlich, also auch die Bewegung um dieselbe gleichförmig ist. Die Beobachtungen aber bestätigen dieses Resultat auf eine Weise, die vielleicht mehr geeignet ist, uns über jene Voraussetzung zu beruhigen, als dieses ein förmlicher directer Beweis zu thun im Stande wäre. Je mehr wir von diesen Beobachtungen anstellen, je besser die Instrumente und die Uhren sind, die wir dabei gebrauchen, und je höher unsere Beobachtungskunst steigt, desto mehr werden wir überzeugt, dafs jene Voraussetzung richtig und der Wahrheit gemäfs ist; daher wir denn auch nicht weiter anstehn können, sie anzunehmen und als ein Axiom gelten zu lassen, das durch tausendfältige Induction wenigstens ebenso sichergestellt ist, als beinahe alle unsere andern sogenannten Wahrheiten, an denen zu zweifeln keinem Vernünftigen einfällt, obschon er in grofse Verlegenheit kommen könnte, wenn er einen directen und unumstöfslichen Beweis davon aufstellen sollte.

Wenn man aber den Himmel zu diesem Zwecke, als primitives Zeitmafs, als Regulator aller unserer Uhren anwenden will, so bietet sich dazu vor allen den grofsen Körpern, die sich in jenen ungemessenen Räumen über uns bewegen, das Gestirn des Tages, die *Sonne* dar, und sie ist es auch, die seit den ältesten Zeiten gebraucht wurde, unsere Chronologie sowohl, als auch jede andere Zeitmessung zu bestimmen. Auch scheint sie vor allen andern Gestirnen dazu vorzüglich geschickt. Durch ihren regelmäfsigen Auf- und Untergang giebt sie uns die Abwechselung der Tage und Nächte und durch ihre jährliche Wanderung von einem Fixsterne des Himmels zum andern erzeugt sie die ebenso regelmäfsige Folge der Jahreszeiten. Auf *Tage* und *Jahre* aber beziehen sich, in letzter Instanz, alle unsere Zeitrechnungen.

Allein so geeignet auch die Sonne zur diesem Zwecke scheint und so viele Jahrtausende sie auch in der That dazu gebraucht worden ist, so mufs sie doch, wenn einmal von einer *genauen* Zeitbestimmung, wie sie z. B. der Astronom verlangt, die Rede ist, als ganz unbrauchbar verworfen werden. Esist bekannt, dafs die Sonne jährlich ihren Umlauf um die Erde von West gen Ost vollendet, während sie zugleich täglich von Ost gen West um die Erde geht oder doch, was hier dasselbe ist, zu gehn scheint. Diese letzte Bewegung hat sie

Digitized by Google

mit allen Fixsternen gemein, die erste aber ist ihr eigenthümlich und die Folge davon ist, dafs die Sonne sich von jedem Fixsterne, dem sie auf ihrer jährlichen Bahn begegnet, immer mehr und mehr gegen Osten entfernt und daher auch mit jedem Tage später, als jener Stern, in den Meridian oder in den Mittag tritt. Diese doppelte Bewegung der Sonne, die tägliche um die Erde und die jährliche unter den Fixsternen des Himmels, macht die Sache schon etwas verwickelter, als man zu einer primitiven Zeitbestimmung, die allen andern zum Grunde liegen soll, wohl wünschen möchte, und jeder der unzählbaren Fixsterne scheint dazu angemessener. Hätten wir z. B. den Sirius und seine Bewegung als Urzeitmafs gewählt, wie dieses in gewisser Beziehung die alten Aegyptier gethan haben, so würden wir *diese* Himmelsuhr als einen uns zwar unsichtbaren Kreis betrachten können, in dessen einem Puncte jener Fixstern befestigt ist, und während sich dieser Kreis täglich von Ost nach West mit vollkommener Regelmäfsigkeit um die Erde, als um seinen Mittelpunct, schwingt, können wir diese Bewegung desselben an dem blendenden Glanze jenes Fixsterns sehn und messen, da er immer *denselben* Ort des Kreises einnimmt. Setzen wir aber statt des Fixsterns unsere Sonne, so ist diese, wie wir gesehn haben, nicht mehr fest mit dem Kreise verbunden, sondern sie durchwandert vielmehr denselben jährlich der ganzen Länge nach gleich einer Kugel, die in einem kreisförmigen Canale immer weiter auf die linke Seite rollt, während der Canal, der Kreis selbst, sich täglich um seinen Mittelpunct, um die Erde, herumschwingt. Wir haben demnach hier eine *doppelte* Bewegung, die des Kreises um die Erde und die der Sonne in dem Kreise. Indefs da diese Sonne, das Gestirn des Tages, uns gleichsam auffordert, unsere Zeit nach ihr abzumessen, würden wir uns durch diese übrigens doch nur geringe Complication, nicht abhalten lassen, sie auch noch ferner zu diesem Zwecke zu gebrauchen. In der That würde sie, auch bei dieser doppelten Bewegung, noch immer ein sehr gutes Zeitmafs abgeben, wenn nur, was hier Hauptbedingung ist, diese beiden Bewegungen selbst an sich vollkommen *gleichförmig* wären. Wenn man wüfste, dafs die Sonne wegen ihrer eigenen Bewegung gen Ost *jeden* Tag z. B. um 4 Minuten später in den Meridian zurückkommt, als irgend ein Fixstern, der

Digitized by Google

seinen Ort am Himmel nicht ändert, so würden dadurch unsere nach der Sonne gezählten Tage alle um 4 Minuten gröfser seyn, als wenn wir sie nach irgend einem Fixsterne zählten, aber sie würden dessenungeachtet nicht minder *gleich grofs* seyn, und darauf allein kommt es hier an. Aber das ist nicht der Fall mit unserer Sonne. Sie bewegt sich in ihrer Bahn nicht gleichförmig, sondern mit einer jeden Augenblick veränderten Geschwindigkeit. Im Anfange des Jahrs, wo ihre Geschwindigkeit am gröfsten ist, geht sie während der Zeit zwischen zwei nächsten Culminationen der Sonne oder zwischen zwei wahren Mittagen durch einen Bogen von 1° 6′ 15″, während sie in der Mitte des Jahrs, im Anfange des Junius, während derselben Zwischenzeit nur den Bogen 1° 1′ 30″, zurücklegt. Diese Veränderlichkeit ihrer Bewegung macht sie daher zu einem unmittelbaren Zeitmafse ganz unbrauchbar. Dazu kommt noch, dafs dieser Bogen oder dafs die *Richtung* ihrer Bewegung täglich eine andere Lage gegen den Aequator hat, auf welchen letztern sich doch jene tägliche Bewegung des Himmels bezieht, da sich, wie gesagt, der Himmel täglich um die Erdaxe, also jeder Punct desselben in einer dem Aequator parallelen Richtung um uns dreht, während jene eigene Bewegung der Sonne nicht dem Aequator parallel ist, sondern vielmehr in der Ekliptik vor sich geht, die gegen die Ebene des Aequators um einen Winkel von 23° 28′ geneigt ist. Also selbst dann, wenn die eigene Bewegung der Sonne in der Ekliptik gleichförmig wäre, was sie doch nicht ist, würde sie zu einem unmittelbaren Zeitmafse unbrauchbar seyn, weil selbst die unter sich gleichgrofsen Bogen der Ekliptik, wenn sie auf den Aequator projicirt werden, wieder eine ungleiche Gröfse erhalten und dadurch unsere Tage und Stunden selbst unter sich ungleich machen, mithin alle unsere Zeitrechnung, die nur auf Gleichförmigkeit gegründet werden kann, verwirren und zerstören würden.

Wir werden weiter unten[1] sehn, wie sich die Astronomen geholfen haben, um diese Hindernisse zu umgehn, ohne deshalb die Sonne, die sich nun einmal als Mittel zum Zeitmafse gleichsam aufdringt, gänzlich zu verlassen. Hier wird es genügen, zu bemerken, dafs sich die Astronomen zu

---

1 S. *Zeitgleichung*.

Digitized by Google

dieser Absicht der oben[1] erwähnten *mittlern Sonne* bedienen, d. h. dafs sie sich eine imaginäre Sonne als Hülfsmittel ausgedacht haben, welche die Eigenschaft hat, dafs sie *gleichförmig* in der Ekliptik fortgeht und dafs sie überdiefs mit der wahren Sonne immer zu gleicher Zeit durch die zwei Endpuncte der grofsen Axe der Sonnenbahn geht. Daraus folgt, dafs beide Sonnen, die wahre und die imaginäre, dieselbe Umlaufszeit haben, dafs sie aber nur zweimal im Jahre, um den Anfang des Januars und um den 30. Juni, am Himmel denselben Ort einnehmen, während sie zu allen andern Zeiten des Jahrs oft bis auf fast zwei Grade von einander verschieden sind.

Wir haben bereits in dem erwähnten Art. gezeigt, wie man für jede gegebene Zeit den Ort dieser mittlern Sonne, d. h. die *Länge* derselben, sehr leicht finden und dann daraus durch Rechnung auch den Ort der wahren Sonne ableiten kann. Hier wollen wir nur noch bemerken, dafs man diese Länge der mittlern Sonne auch zugleich als die Rectascension derselben ansehn kann, wenn man annimmt, dafs diese mittlere Sonne sich nicht in der Ekliptik, sondern im Aequator gleichförmig und so bewegt, dafs sie mit jener mittlern, in der Ekliptik sich bewegenden Sonne zugleich durch die beiden Puncte der Nachtgleichen geht, von welchen man in der Astronomie alle Längen und Rectascensionen zu zählen anfängt.

Nehmen wir nun an, diese Rectascension der mittlern Sonne betrage in dem Augenblicke, wo sie selbst am ersten Januar des Jahres 1836 durch den Meridian von Wien geht, also im ersten mittlern Mittage dieses Jahrs 280° 8′ 16″,95, wie dieses in der That unsern neuesten Sonnentafeln gemäfs ist. Dividirt man diesen Bogen durch 15, um ihn in Zeit auszudrücken, was zu unserm gegenwärtigen Zwecke bequemer ist, so erhält man für diese Rectascension der mittlern Sonne 18^h 40′ 33″,13. Man pflegt dieses die *Epoche* der mittlern Sonne zu nennen, die also den Ort derselben für irgend eine bestimmte Zeit, wie hier für den Anfang des Jahrs 1836, angiebt. Kennt man nun noch die Bewegung derselben für jeden mittlern Tag, d. h. für die Zeit zwischen zwei nächsten Culminationen dieser Sonne in demselben Meridiane, so wird

---

1 S. *Sonnenzeit.*

Digitized by Google

man daraus leicht den Ort derselben Sonne für jede andere Zeit ableiten.

Es ist aber die Umlaufszeit dieser mittlern Sonne in Beziehung auf den Frühlingspunct oder das sogenannte *tropische Jahr* gleich 365, 242255 mittleren Tagen, in welchen die Sonne in Beziehung auf diesen Frühlingspunct oder in ihrer *Länge* volle 360 Grade zurücklegt. Daraus folgt daher, dafs diese Länge der Sonne in jedem mittlern Tage um $\frac{360}{365,242255}$ oder um 0,9856472 Grade oder endlich, wenn man diese Zahl durch 15 dividirt, um $0^h,06570981$ Stunden und daher in jeder Stunde selbst um $0^h,0027379$ zunimmt, welche letztere Gröfse wir der Kürze wegen durch m bezeichnen wollen.

Da wir nun die Epoche und die tägliche oder stündliche Bewegung der mittlern Sonne kennen, so wird man auch den Ort derselben für jede andere Zeit durch eine sehr einfache Rechnung bestimmen können. Ist nämlich diese Zeit um Θ Tage von dem ersten mittlern Mittage des Jahres 1836 verschieden, so wird die gesuchte Länge der Sonne für diese Zeit seyn

$$18^h\,40'\,33'',13 + 0,06570981\,\Theta,$$

wo für Zeiten *vor* jener Epoche die Gröfse Θ negativ genommen werden mufs.

Die Astronomen haben, um sich die etwas beschwerlichen Multiplicationen mit der meistens grofsen Zahl Θ abzukürzen, eigene Tafeln ausgedacht, wodurch diese Reductionen ungemein erleichtert werden. Sie bilden den Anfang ihrer Sonnen- und aller ihrer Planetentafeln, und da diese den sämmtlichen astronomischen Berechnungen zum Grunde liegen, so wird es den Lehrern interessant seyn, ihre Einrichtung etwas näher kennen zu lernen, um so mehr, da die Kenntnifs derselben für den gegenwärtigen Artikel, für die Verwandlung der Sternzeit in mittlere Zeit und umgekehrt, nothwendig ist.

Bemerken wir noch, dafs die Epoche eines jeden Jahrs die mittlere Länge der Sonne für den mittlern Mittag des ersten Januars dieses Jahrs bedeutet, wenn dasselbe ein Schaltjahr ist, und für den mittlern Mittag des 31. Decembers des unmittelbar vorhergehenden Jahres, wenn das gegenwärtige ein gemeines Jahr ist. Da aber in Schaltjahren der Februar,

Digitized by Google

wie man weifs, einen Tag mehr hat, als in gemeinen Jahren, so hebt sich dadurch jener Unterschied der Epochen in den zehn letzten Monaten des Jahrs wieder auf und man hat nur in den zwei ersten Monaten darauf Rücksicht zu nehmen, ob das Jahr ein Schaltjahr ist oder nicht, indem man nämlich in Schaltjahren einen Tag weniger und z. B. den 9. Januar oder Februar nimmt, wenn man in der That für den 10. rechnet. Ferner ist die Länge der mittlern Sonne, da sie vom Frühlingspuncte an gezählt wird, wegen der *Nutation*[1] einer kleinen Aenderung unterworfen, auf die man hier Rücksicht nehmen mufs, um ihre Länge immer von dem gegenwärtigen, in der That statt habenden Frühlingspuncte zu erhalten.

Dieses vorausgesetzt giebt nun die folgende Tafel in ihrem ersten Theile die Epoche der mittlern Sonne für den Anfang der daselbst angegebenen Jahre und für den Meridian von Wien, mit der kleinen Correction der Nutation, wie sie im Anfange des Jahres statt hat. Da diese Correction im Laufe eines Jahres sich so wenig ändert, so wird man sie für jeden folgenden Tag durch eine einfache Proportion erhalten können. So hat man für den Anfang der Jahre 1836 und 1837 die Nutation $-0''{,}85$ und $-0''{,}61$, deren Differenz daher $0''{,}24$ beträgt. Sucht man daher diese Nutation z. B. für den 7. October des Jahrs 1836, so hat man, da der 7. October der 280ste Tag des Jahres ist,

$$365 : 280 = 0''{,}24 : x$$

und daher $x = 0''{,}18$, also ist die Nutation dieses Tags gleich $-0''{,}85 + 0''18$ oder gleich $-0''67$ und so fort in allen ähnlichen Fällen.

Der zweite Theil der Tafel giebt dann die mittlere Bewegung der Sonne für den Anfang eines jeden Monats und eines jeden Tags im Jahre, wo man bei den letzten, wie bereits erinnert wurde, in den beiden ersten Monaten des Jahrs, wenn dasselbe ein Schaltjahr ist, einen Tag weniger nehmen mufs.

Endlich ist noch eine kleine Tafel angebracht, welche die Reduction giebt, die man für andere Städte, die mit vorzüglichen Sternwarten versehn sind, an die Resultate der vorigen Tafel anbringen mufs, um die Rectascension der mittlern Sonne für den mittlern Mittag dieser Städte zu erhalten.

1 S. *Nutation.* Bd. VII. S. 269.

Digitized by Google

Theil I.

	Rectasc. ⊙	Nutation
1834	18ʰ 38′ 31″,19	— 1″,02
1835	37 33,88	— 0,99
1836	40 33,13	— 0,85
1837	39 35,82	— 0,61
1838	38 38,52	— 0,31
1839	37 41,21	0,02
1840	40 40,45	0,35
1841	39 43,15	0,64
1842	38 45,84	0,86
1843	37 48,54	1,00
1844	40 47,78	1,02
1845	39 50,48	0,92
1846	38 53,17	0,72
1847	37 55,87	0,43

Theil II.

Monate	Rectasc. ⊙	Tage	Rectasc. ⊙	Sternwarte	Reduct.
0 Februar	2ʰ 2′ 13″,21	1	0ʰ 3′ 56″,55	Berlin	1″,97
0 März	3 52 36,76	2	0 7 53,11	Copenhagen	2,49
0 April	5 54 49,98	3	0 11 49,67	Dublin	14,91
0 Mai	7 53 6,64	4	0 15 46,22	Göttingen	4,27
0 Juni	9 55 19,86	5	0 19 42,78	Greenwich	10,76
0 Juli	11 53 36,52	6	0 23 39,33	Königsberg	— 2,70
0 August	13 55 49,73	7	0 27 35,89	Mailand	4,72
0 Septbr.	15 58 2,95	8	0 31 32,44	Palermo	1,98
0 October	17 56 19,61	9	0 35 29,00	Paris	9,23
0 Novbr.	19 58 32,82	10	0 39 25,55	Petersburg	— 9,16
0 Decbr.	21 56 49,48	20	1 18 51,11	Rom	2,58
		30	1 58 16,66	Seeberg	3,71

Mittelst dieser Tafel, die auf den neuesten Correctionen beruht, welche Carlini und Bessel an unsern Sonnentafeln angebracht haben, findet man ohne Mühe die mittlere Rectascension der Sonne für jeden gegebenen Mittag eines Jahres.

Sucht man z. B. diese Rectascension S für 1834 den 13. März im mittlern Mittag Berlins, so hat man

Digitized by Google

1834 ...	18h	38′	31″,19
0 März ..	3	52	36,76
13 Tage ...	0	51	15,22
	23	22	23,17
Nutation			— 1,01
Reduction			+ 1,97
Gesuchte Rectasc. S =	23	22	24,13.

Ebenso erhält man für 1836 den 20. Februar im mittlern Mittag von Greenwich, da dieses Jahr ein Schaltjahr ist,

1836 . . .	18h	40′	33″,13
0 Febr. . .	2	2	13,21
19 Tage . .	1	14	54,55
	21	57	40,89
Nutation			— 0,82
Reduction			+ 10,76
gesuchte Rectasc. S =	21	57	50,83.

Wenn nun diese mittlere Sonne, die sich im Aequator gleichförmig bewegt, durch den Meridian irgend eines Beobachtungsortes geht, so ist dieses der Augenblick des mittleren Mittags dieses Orts, und wenn sie, nach diesem Augenblicke, um 15, 30, 45... Grade des Aequators von dem Meridiane entfernt ist, so ist es an diesem Beobachtungsorte eben 1, 2, 3...Uhr mittlerer Zeit, die, wie alle Zeiten, nach dem astronomischen Gebrauche bis 24 Uhr gezählt wird, so dafs die Stunden unter 12 dem Abende und die über 12 dem Morgen angehören und dafs z. B. 17h 30′ ebensoviel ist, als 5h 30′ Morgens. Man nennt diese Entfernung der Sonne vom Meridiane, im Aequator von Süd nach West bis 24h gezählt, den *Stundenwinkel* der Sonne[1], so dafs also *Stundenwinkel* der mittlern Sonne oder *Entfernung* derselben vom Meridiane oder endlich *mittlere Zeit* des Orts gleichbedeutende Ausdrücke sind.

Diese *mittlere Zeit* ist es, welche nicht nur die Astronomen bei allen Bekanntmachungen ihrer Beobachtungen und bei der Construction ihrer Tafeln gebrauchen, sondern welche auch im bürgerlichen Leben, wo immer eine genauere Zeitan-

1 S. Art. *Stundenwinkel*.

gabe erfordert wird, vorzugsweise angewendet werden sollte. Sonst hat man sich wohl, selbst in der praktischen Astronomie, der *wahren Zeit* zu diesem Zwecke bedient, die also, nach dem Vorhergehenden, dem Stundenwinkel der wahren Sonne gleichbedeutend ist. Allein da, wie wir gesehn haben, diese wahre Sonne eine ungleichförmige Bewegung am Himmel hat, so ist sie zur unmittelbaren Zeitbestimmung nicht geeignet. Auf der andern Seite aber ist diese wahre Sonne wieder die einzige, die in der That beobachtet werden kann und die sich, da sie die Ursache der Abwechslung unsrer Tage und Nächte ist, zu unserm Zeitmafse gleichsam von selbst aufdringt, da im Gegentheile jene mittlere Sonne eine blofs imaginäre ist, die nicht am Himmel selbst, sondern nur in der Idee der Astronomen existirt, aber dafür wieder den Vortheil gewährt, dafs sie sich, wie es zu unserm Zwecke nothwendig ist, erstens gleichförmig und zweitens im Aequator bewegt und dafs sie endlich drittens sich nie sehr weit von jener wahren Sonne zu beiden Seiten derselben entfernt. Wenn einmal die Theorie jener wahren Sonne vollkommen bekannt ist, so kann man, durch sehr einfache und sichere Rechnungen, diese Entfernungen beider Sonnen von einander sehr leicht bestimmen und daher aus der *wahren Zeit*, die man durch unmittelbare Beobachtung der wahren Sonne am Himmel erhält, die *mittlere Zeit* für jeden gegebenen Augenblick leicht ableiten. Die Differenz dieser beiden Zeiten ist das, was man die *Zeitgleichung* nennt, wie wir weiter unten in diesem Art. näher sehn werden. Diese Zeitgleichung ist es auch, die in jedem unserer bessern Kalender für jeden Mittag des Jahres unter der Benennung das *Gangen der Uhren* angegeben zu werden pflegt. So heifst es z. B. am ersten Januar, dafs der Gang der Uhr in einem Schaltjahre $3' 33''$ ist, d. h. dafs eine nach mittlerer Zeit gehende Uhr $12^h\ 3'\ 33''$ zeigen soll, wenn die wahre Sonne eben im Mittage steht oder wenn eine gute Sonnenuhr eben $12^h\ 0'\ 0''$ zeigt. In mehrern grofsen Städten Deutschlands ist bereits die Einrichtung getroffen, dafs der Augenblick des mittlern Mittags von einem Thurme mit einer Glocke angezeigt wird, so dafs nun in solchen Städten alle Geschäfte nach der mittlern Zeit geordnet werden und dafs nun auch die Uhrmacher ein verläfsliches Mittel haben, den Gang ihrer Uhren zu prüfen, wenn jene Zeichengebung, wie

es seyn soll, unter die Leitung der Sternwarte jener Städte gestellt wird.

Mit diesen beiden Zeiten, der mittlern und der wahren Sonnenzeit, begnügte man sich denn auch bis etwa zur Mitte des letztverflossenen Jahrhunderts. In der That reichen auch diese zwei Zeitangaben zu allen Bedürfnissen, selbst zu den wissenschaftlichen der Astronomen, vollkommen hin. Die eine, die wahre Zeit, läfst sich durch unmittelbare Beobachtung der wahren Sonne am Himmel in jedem Augenblicke finden und aus ihr läfst sich dann durch die bereits bekannte *Zeitgleichung* die mittlere Zeit, die man wegen ihrer gleichförmigen Veränderung eigentlich braucht, leicht finden, so dafs man also um eine scharfe Zeitbestimmung in jedem gegebenen Augenblicke nicht mehr verlegen seyn darf.

Allein so bequem und zweckmäfsig diese mittlere Zeit auch für beinahe alle unsere Geschäfte des wissenschaftlichen und des bürgerlichen Lebens erscheinen mag und so gern sich übrigens die Astronomen diesem Gebrauche in den *Bekanntmachungen* ihrer Beobachtungen fügten, so bemerkten sie doch gar bald, dafs diese mittlere Zeit zu ihren *Beobachtungen* selbst noch manche Unbequemlichkeiten mit sich führe, von denen sie sich befreit zu sehn wünschen mufsten. Ich will hier nur eine derselben erwähnen, die aber so oft wiederkommt, dafs sie am Ende in der That beschwerlich ist. Das *Passageninstrument*[4] wird auf allen Sternwarten täglich, ja stündlich gebraucht und es dient dazu, die Durchgänge der Gestirne durch den Meridian oder die Zeit ihrer Culmination zu finden. Die Astronomen kennen bereits von sehr vielen Fixsternen die mittlere Zeit ihrer Culmination mit sehr grofser Genauigkeit und sie bedienen sich daher der Beobachtungen ihrer Culminationen, um ihre Uhren darnach zu richten. Wenn nun z. B. einer dieser Sterne heute um $6^h\ 10'\ 20''$ mittlerer Zeit culminiren soll und wenn die Uhr im Augenblicke dieser Culmination $6^h\ 9'\ 10''$ zeigt, so weifs man, dafs sie um $1'\ 10''$ gegen mittlere Zeit zu spät geht. Allein morgen wird derselbe Stern nicht um $6^h\ 10'\ 20''$, sondern um $6^h\ 6'\ 24'',1$ mittlerer Zeit und übermorgen um $6^h\ 2'\ 28''2$, kurz jeden folgenden Tag wird er um $0^h\ 3'\ 55'',90867$ mittlerer Zeit frü-

4 S. *Passageninstrument*. Bd. VII. S. 296.

Digitized by Google

her, als am vorhergehenden, culminiren, weil die mittlere Sonne, wie man aus der vorhergehenden Tafel sieht, in einem Tage um nahe ebenso viel in ihrer eigenen Bewegung gen Ost fortschreitet. Die Uhr müfste also, wenn sie in der That nach mittlerer Zeit gehn soll,

am ersten Tage	6^h	$9'$	$10'',0$
am zweiten —	6	5	14,1
am dritten —	6	1	18,2 u. f.

bei der Culmination dieses Sterns zeigen, und diese zwar geringen, aber doch so oft wiederkommenden Reductionen werden endlich beschwerlich fallen, besonders wenn man bedenkt, dafs sie eigentlich unnöthig sind und nur in der Einrichtung der mittlern Zeit, die man bei diesen Beobachtungen gebraucht hat, ihren Grund haben.

Welche andere Zeit sollte man aber gebrauchen, um diese lästigen Reductionen gänzlich zu entfernen? Offenbar würde man diesen Zweck erreichen, wenn man, statt der Sonne, irgend ein anderes Gestirn wählte, das *keine* eigne Bewegung hätte, also irgend einen der Fixsterne. Allein welcher von den zahllosen Fixsternen verdient den Vorzug? Der bequemste zu unserer Absicht wäre ohne Zweifel der, welcher eben im Frühlingspuncte steht [1]. Aber in diesem Puncte steht kein Fixstern und er ist überdiefs der Präcession und Nutation wegen veränderlich. Wie also, wenn wir diesen Nachtgleichenpunct selbst statt unserer Sonne substituiren und ihn als künftiges Mittel zur Zeitbestimmung gebrauchen wollten? Zwar ist er, wie gesagt, wieder veränderlich, aber diese Veränderlichkeit ist so gering und geht so langsam vor sich, dafs man durch eine sehr einfache Rechnung darauf Rücksicht nehmen kann. Uebrigens ist die Rectascension jedes Fixsternes ebenfalls veränderlich, nicht nur wegen jener Bewegung des Nachtgleichenpuncts, von welchem alle Rectascensionen gezählt werden, sondern auch noch wegen der sogenannten *eigenen Bewegung*, die man an jedem dieser Fixsterne bemerkt und von welcher uns die Gröfse und Richtung noch so wenig, die Ursache aber noch gar nicht bekannt ist.

Nehmen wir also den Frühlingspunct als Regulator unserer Zeitmessung an und bezeichnen wir diese neue Zeit durch

---

1 S. *Nachtgleichenpuncte.* Bd. VII. S. 5.

Digitized by Goog

das Wort *Sternzeit*, so wird analog mit den vorhergehenden von der wahren oder mittlern Sonne entnommenen Ausdrücken der *Sterntag* die Zeit zwischen zwei nächsten Durchgängen des Frühlingspunctes durch den Meridian irgend eines Orts auf der Oberfläche der Erde seyn und die *Sternzeit* dieses Orts wird der Stundenwinkel des Frühlingspunctes oder die Entfernung desselben vom Meridiane seyn, im Aequator von Süd gen West bis 24 Stunden gezählt. Eine nach Sternzeit gehende Uhr endlich oder eine *Sternuhr* wird diejenige seyn, die bei jeder Culmination des Frühlingspunctes 0^h oder, was dasselbe ist, 24^h zeigt.

Um zu finden, wie sich der Gang einer solchen Sternuhr gegen den einer mittlern Uhr verhält, bemerken wir, dafs die mittlere Sonne in einem Sonnentage, wie wir oben gesehn haben, um 24.m gegen Osten geht, dafs also diese Sonne in einem mittlern Sonnentage den Bogen $24^h + 24.m = 24^h(1+m)$ um die Erde beschreibt, so dafs daher der Sonnentag $= (1+m)$ eines Sterntags, und ebenso der Sterntag $= \frac{1}{1+m}$ eines Sonnentags seyn mufs. Es war aber $m = 0^h,0027379$, also ist auch der Sonnentag gleich 1.0027379 eines Sterntags oder, wenn man diese Zahl durch 86400 multiplicirt, so ist der Sonnentag gleich $24^h\ 3'\ 56'',55456$ in Sternzeit ausgedrückt. Ebenso ist also auch der Sterntag gleich $\frac{1}{1,0027379}$ eines Sonnentags, oder, wenn man auch diese Zahl durch 86400 multiplicirt, so ist der Sterntag gleich $23^h\ 56'\ 4'',09133$ in Sonnenzeit ausgedrückt. Subtrahirt man diese letzte Zahl von 24^h, so erhält man $0^h\ 3'\ 55'',90867$, und um so viel mittlere Zeit culminirt also, wie wir oben bereits gesagt haben, jeder Fixstern am folgenden Tage früher, als am nächstvorhergehenden, während im Gegentheile die mittlere Sonne an jedem Sterntage um $0^h\ 3'\ 56'',55456$ Sternzeit später culminirt, als am vorhergehenden Tage. Will man daher eine Uhr, die bisher nahe nach mittlerer Zeit ging, nach Sternzeit gehn machen, so wird man, da sie jetzt geschwinder gehn soll, als zuvor, die Linse ihres Pendels so lange erhöhn, bis sie zwischen zwei nächsten Culminationen der mittlern Sonne $24^h\ 3'\ 56''55456$ zeigt, wo sie dann zwischen zwei nächsten Culminationen eines Fixsterns genau $24^h\ 0'\ 0''$ zeigen wird.

Dieses betrifft aber nur den *Gang* der Sternuhr. Allein wie soll man noch den *Stand* derselben finden oder wie soll man die Zeiger derselben stellen, damit sie für jeden gegebenen Augenblick die Sternzeit desselben in der That angeben? Wir werden im Artikel *Stundenwinkel* sehn, dafs die Sternzeit immer gleich ist der Summe der Rectascension eines Sterns und des Stundenwinkels desselben. Im Augenblicke der Culmination dieses Sterns ist aber sein Stundenwinkel gleich Null, also auch die Sternzeit der Culmination gleich der Rectascension des culminirenden Sterns. Dieses giebt ein sehr einfaches Mittel, die Zeiger der Uhr gehörig zu stellen. Beobachtet man nämlich einen Stern, dessen Rectascension z. B. gleich $4^h\ 30'\ 10''$ ist, so wird man im Augenblicke seiner Culmination die Uhr auf $4^h\ 30'\ 10''$ stellen und der *Stand* der Uhr, deren *Gang* bereits vorher berichtigt war, wird ebenfalls geordnet seyn oder die Uhr wird für jeden Augenblick die Sternzeit desselben anzeigen, wenn sie ihren Gang in der That vollkommen und unverändert beibehält.

Allein keine Uhr thut dieses in dem Grade, wie es die Astronomen in der That bedürfen, und daher ist es ihre tägliche Sorgfalt, den Gang ihrer Uhren auf das genaueste zu prüfen, indem sie die Culminationen wohl bekannter Sterne beobachten und zusehn, ob ihre Sternuhren auch die Rectascensionen dieser Sterne mit der gröfsten Schärfe anzeigen.

Da sie auf diese Weise, der gröfsern Bequemlichkeit wegen, sich dieser Sternuhren bedienen, so werden auch die Zeiten ihrer Beobachtungen alle in Sternzeit ausgedrückt, wie man in den Beobachtungsjournalen derjenigen Sternwarten, wie Greenwich, Königsberg, Wien u. a. findet, wo diese Beobachtungen im Original und so, wie man sie von den Instrumenten und den Uhren abgelesen hat, mitgetheilt werden.

Allein die astronomischen Tafeln der Sonne, des Monds und der Planeten, sowie auch die Ephemeriden, sind durchaus in mittlerer, nicht in Sternzeit, angegeben, und es ist überdiefs eine hergebrachte und auch sehr wohl gegründete Sitte der Astronomen, die *Resultate* ihrer Beobachtungen, wenn sie dieselben öffentlich bekannt machen, in mittlerer Zeit anzugeben und sich dadurch gleichsam dem Gebrauche des Publicums zu accommodiren. Aus diesen Ursachen müssen sie daher gar oft diejenigen Momente, die sie unmittelbar

Digitized by Google

in Sternzeit gefunden haben, in mittlere Zeit verwandeln und umgekehrt. Es liegt uns daher noch ob, eine Methode zu geben, durch welche man diese Verwandlungen leicht und sicher vornehmen kann.

Sey t die Sternzeit irgend einer Beobachtung und T die ihr entsprechende, hier zu suchende, mittlere Sonnenzeit. Bezeichnen wir die Rectascension der mittlern Sonne für den mittlern Mittag desjenigen Tages, an welchem jene Beobachtung angestellt worden ist, durch S, wo also S dieselbe Gröfse ist, die wir bereits oben, mit Hülfe der dort gegebenen Tafel, gefunden haben. Sey wieder m, wie zuvor, gleich $0^h,0027379$, also m die Bewegung der mittlern Sonne in einer Stunde Sonnenzeit. Dieses vorausgesetzt würde man, wenn a die Rectascension der mittlern Sonne ist, wie sie in dem Augenblicke jener Beobachtung statt hatte, die einfache Gleichung haben

$$t = T + a$$

und diese würde die Relation zwischen den beiden Gröfsen t und T ausdrücken, die man sucht, um eine dieser Gröfsen in die andere zu verwandeln.

Um nun noch die unbekannte Gröfse a zu finden, mufs man bemerken, dafs wegen der gleichförmigen Bewegung der mittlern Sonne die Rectascension derselben, seit dem mittlern Mittage dieses Tages bis zur mittlern Zeit T, gleich m T und dafs daher $a = S + m\,T$ ist. Substituirt man diesen Werth von a in der vorigen Gleichung, so erhält man

$$t = S + T + m\,T \text{ oder}$$

$$T = t - S - \frac{m}{m+1}(t-S)$$

und die erste dieser Gleichungen giebt die Sternzeit, wenn die mittlere Sonnenzeit bekannt ist, so wie umgekehrt die zweite die mittlere Zeit T giebt, wenn die Sternzeit t bekannt ist, wo $m = 0{,}0027379$ und daher $\frac{m}{m+1} = 0{,}0027304$ ist.

Um die Multiplicationen, welche der Gebrauch dieser Formeln erfordert, abzukürzen, hat man sich eine Tafel entworfen, die für jede Stunde die Zahl $0^h,0027304 = 9'',829$, also auch

für jede Minute . . . . . $0'',1638$ und

für jede Secunde . . . . . $0'',00273$ giebt, und diese kleine Tafel theilen wir hier mit. Sie ist bei den Astro-

nomen unter der Benennung der Acceleration der Fixsterne bekannt und von beinahe täglichem Gebrauche. Durch sie wird eigentlich, wie man sieht, die zweite Aufgabe aufgelöst; wo die Sternzeit bekannt ist und die Sonnenzeit gesucht wird. Allein sie kann mit einer kleinen Modification auch zur Auflösung der ersten Aufgabe dienen, wo die Sternzeit aus der gegebenen Sonnenzeit gesucht wird. Setzt man nämlich $\frac{m}{m+1} = \mu$, so ist auch $m = \frac{\mu}{1-\mu}$, und daher wird die erste unserer vorhergehenden Gleichungen

$$t = S + T + \mu . T + \mu . \mu T + \mu . \mu^2 T + \ldots,$$

so dafs man in dieser, wenn man die Sternzeit aus der gegebenen Sonnenzeit sucht, nebst der durch unsere Tafel unmittelbar gegebenen Reduction μT für T, nur noch die durch dieselbe Tafel gegebene Reduction $\mu . (\mu T)$ für (μT) und die Reduction $\mu (\mu^2 T)$ für $(\mu^2 T)$ u. s. w. suchen darf, wo man meistens schon bei dem zweiten Gliede $\mu^2 T$ stehn bleiben kann.

Ein Beispiel wird den Gebrauch dieser Tafel deutlich machen und uns zugleich in den Stand setzen, diese wichtige Aufgabe der Astronomie in allen Fällen mit der gröfsten Schärfe aufzulösen.

Für das Jahr 1834 am 13. März sey die Sternzeit $t = 7^h\ 28'\ 30'',25$ im Meridian von Berlin gegeben. Man suche die ihr entsprechende Berliner mittlere Sonnenzeit. Da wir bereits oben für den mittlern Mittag dieses Tages die Gröfse $S = 23^h\ 22'\ 24'',13$ gefunden haben, so hat man nach der zweiten unserer vorhergehenden Gleichungen

				Die Tafel giebt	
Sternzeit t . . .	7^h	$28'$	$30'',25$		
S . . .	23	22	24,13	8^h . .	$1'$ $18'',64$
Differenz . .	8	6	6,12	$6'$ . . .	0,98
Acceleration . .		— 1	19,64	$6''$ . .	0,02
gesuchte mittl. Zeit T .	8^h	$4'$	$46'',48$		$1'$ $19'',64$

Wäre umgekehrt diese mittlere Zeit $T = 8^h\ 4'\ 46'',48$ gegeben und die ihr entsprechende Sternzeit t zu suchen, so hätte man nach der ersten unserer Gleichungen

Digitized by Google

Mittl. Zeit T . . .	8^h	4′	46″,48
Acceleration . . .	+ 1	19,63	
Summe . . .	8	6	6,11
S	23	22	24,13
gesuchte Sternzeit t . .	7	28	30,24

Die Tafel giebt	
8^h .	1″ 18″,64
4′ . . .	0,65
46″ . .	0,13
	1 19,42
1′ . . .	0,16
19″ . . .	0,05
	1 19,63

wie zuvor.

Wenn ebenso für das Jahr 1836 am 20. Februar die Sternzeit 10^h 46′ 24″,75 im Meridian von Greenwich gegeben wäre, so hätte man, da für diesen Tag bereits oben S = 21^h 57 50″,83 gefunden wurde,

Sternzeit t . . .	10^h	46′	24″,75
S . . .	21	57	50,83
	12	48	33,92
	— 2		5,90
gesuchte Sonnenzeit T	12	46	28,02

und wenn umgekehrt diese Sonnenzeit gegeben wäre, so hätte man

Sonnenzeit T . . .	12^h	46′	28″,02
	+ 2		5,91
	12	48	33,93
S . . .	21	57	50,83
gesuchte Sternzeit t . .	10	46	24,76

wie zuvor.

Dieselbe Tafel giebt zugleich ein bequemes Mittel, ein in Sternzeit ausgedrücktes Intervall in mittlerer Zeit auszudrücken und umgekehrt. Wie viel betragen z. B. 8^h 40′ 30″,1 Sternzeit, wenn man diese Dauer in mittlerer Zeit ausdrücken will?

in Sternzeit	8^h	40′	30″,1
Acceleration	— 1		25,27
Intervall in mittl. Zeit	8^h	39′	4″,83,

und umgekehrt, wenn die Dauer in mittlerer Zeit ausgedrückt worden ist, so hat man

Digitized by Google

in mittl. Zeit . .	8h	39′	4″,83
Accelerat. . .	+	1	25,04
Accel. dieser Acceleration	+	0	0,23
Intervall in Sternzeit . .	8h	40′	30″,10.

Bemerken wir noch zur Vervollständigung des Vorhergehenden, dafs, da der Sonnentag gleich $(1+m)$ eines Sterntages und da $m = 0{,}0027379$ oder $m = \frac{1}{365{,}242255}$ ist, auch ein ganzes Jahr oder 365,242255 Sonnentage gleich 366,242255 Sterntage seyn müsse, dafs also das Jahr, welches auch seine Länge seyn mag, immer einen vollen Sterntag mehr Sterntage als Sonnentage hat, oder mit andern Worten, dafs nach Verfluſs eines tropischen Jahres der Frühlingspunct genau einen ganzen Umlauf um die Erde mehr gemacht habe, als die Sonne.

Stunden	Acceleration	Minuten	Accel.	Secunden	Accel.
1	0′ 9″,83	1	0″,16	1	0″,00
2	0 19,66	2	0,33	2	0,00
3	0 29,49	3	0,49	3	0,01
4	0 39,32	4	0,65	4	0,01
5	0 49,15	5	0,82	5	0,01
6	0 58,98	6	0,98	6	0,02
7	1 8,81	7	1,15	7	0,02
8	1 18,64	8	1,31	8	0,02
9	1 28,46	9	1,47	9	0,02
10	1 38,29	10	1,64	10	0,03
20	3 16,95	20	3,28	20	0,05
24	3 55,91	30	4,91	30	0,08
		40	6,55	40	0,11
		50	8,19	50	0,14

L.

Digitized by Google

Stetigkeit.

Continuitas; Continuité; *Continuity*.

Die Untersuchung der Stetigkeit, als eines vorhandenen Naturgesetzes, hat gegenwärtig kaum noch ein anderes, als ein geschichtliches Interesse, indem sie mit zur Classe der vielen metaphysischen Forschungen gehört, wodurch man, von der Erfahrung sich entfernend, das Wesen der Dinge früher zu ergründen strebte. Die Stetigkeit bezeichnet den Zusammenhang der Gröfsen ohne Unterbrechung und merkbaren Uebergang vom Kleinern zum Grölsern oder umgekehrt und findet sowohl bei räumlichen als auch zeitlichen Gegenständen statt. Demnach sind nicht unterbrochene Linien, Flächen und Körper stetige Gröfsen (*continua*) und auf gleiche Weise können unmittelbar auf einander folgende Zustände oder Veränderungen (*successiva*) als ohne Unterbrechung seyend oder als stetig gedacht werden. Sofern hierbei von dem blofsen Begriffe die Rede ist, hat die Sache gar keine Schwierigkeit, indem jede Linie, jede Fläche und jeder Körper, wobei wir keine Zwischenräume wahrnehmen, als zusammenhängend gedacht werden, der ganze Raum aber, welchen ein frei fallender Körper ohne Unterbrechung in einer gegebenen Zeit durchläuft, in der Vorstellung als ein Continuum erscheint. Ist eine Fläche zwischen zwei divergirenden Linien eingeschlossen, so ist sie zwar in mefsbaren Entfernungen ungleich grofs, auch wächst die Geschwindigkeit des fallenden Körpers mit der Zunahme der Zeit um eine unterscheidbare Gröfse; in beiden Fällen aber lassen sich die Zeiten und Räume so klein annehmen, dafs die Unterschiede der Vorstellung entschwinden, der Zusammenhang also nicht unterbrochen wird, und die Gröfsen demnach als stetig fortgehend erscheinen. Insofern aber nach mefsbaren Räumen und Zeiten wirkliche vorhandene Unterschiede zum Vorschein kommen, so mufs auch, der blofsen Vorstellung nach, irgend ein Raum und irgend eine Zeit, wenn gleich beide unmefsbar klein, existiren, wo die Gröfse kleiner oder gröfser ist, als vorher odernachher, und somit ist es nothwendig, einen Uebergang von dem Einen zum Andern anzunehmen. Zugleich aber erscheinen uns die meisten Naturkörper als ein Ganzes, und mindestens ist es bei keinem möglich,

seine kleinsten Bestandtheile (die *Atome*) wahrzunehmen, in ihrer Zusammenfügung tritt also das Gesetz der Stetigkeit hervor; jede wirkende Kraft mufs aufserdem als eine stetige erscheinen, weil eine nicht wirkende, gleichwohl aber existirende Kraft oder die Vereinigung eines nicht wirkenden Wirksamen in einem einzigen Begriffe unmöglich ist[1], und sonach ist keine Unterbrechung der Kraft denkbar. Hiernach müssen also der Erscheinungen eine grofse Menge in der Natur vorkommen, bei denen Stetigkeit statt findet.

Früher war man jedoch mit diesen, aus den Erscheinungen entnommenen Folgerungen nicht zufrieden, sondern nahm ein Gesetz der Stetigkeit (*lex continui*, *lex continuitatis*) als absolutes Naturgesetz an, weil die Natur keinen Sprung machen könne. Bei der Anwendung dieses Gesetzes stiefs man jedoch auf Schwierigkeiten. Beim Stofse elastischer Körper liefsen sich die Widersprüche durch die Annahme umgehn, dafs die Zusammendrückungen allmälig erfolgen und demnach die Bahn einer gegen eine ebene Fläche schräg geworfenen Kugel oder die von spiegelnden Flächen reflectirten Lichtstrahlen in der Nähe der zurückwerfenden Ebenen eine krumme Bahn beschreiben sollten, bei vollkommen harten Körpern aber mufste sich die Geschwindigkeit im Augenblicke der Berührung ändern, und deswegen wollten verschiedene Mathematiker, namentlich Joh. Bernoulli und L. Euler, die Möglichkeit vollkommen harter Körper leugnen. Hiernach fiel dann auch die Existenz der Atome weg und die Materie mufste ins Unendliche theilbar seyn, wenn man nicht mit Boscowich[2] annehmen wollte, der Stofs harter Körper geschehe gar nicht durch wirkliche Berührung, sondern durch anziehende und zurückstofsende Kräfte, welche die Geschwindigkeiten der sich nähernden Körper allmälig änderten, um sonach dem Naturgesetze der Stetigkeit nicht Abbruch zu thun.

---

1 Dafs das Resultat der Kraft oder die Wirkung, der Effect, durch eine entgegengesetzte Kraft verringert, aufgehoben oder bis ins Negative übertroffen werden könne, steht hiermit nicht im Widerspruche.

2 De viribus vivis. In Comm. Soc. Bonon. T. II. Part. II.

Kästner[1] war wohl der Erste, welcher zeigte, dafs die Existenz des Gesetzes der Stetigkeit nicht an und durch sich selbst begründet sey, sondern erst durch die Erfahrung gegeben werden müsse, mithin nirgends angenommen werden könne, als wo es auf diese Weise erkannt werde, und dafs dieses in sehr vielen Fällen unmöglich sey, weil wir nicht gewifs wären, ob ein Phänomen wirklich so sey, wie wir es zu erkennen glauben, oder ob ein täuschender Schein dabei statt finde. So scheinen uns manche Körper ein Continuum zu bilden, obgleich erweislich die einzelnen Theile durch merkliche Zwischenräume getrennt seyen, und ebenso könne uns eine Bewegung als stetig erscheinen, obgleich sie nur stofsweise erfolge. Das Gesetz der Stetigkeit lasse sich demnach nicht weiter ausdehnen, als bis wohin die Erfahrung reiche. Schon früher hatte Maupertuis[2] das gewichtige Argument geltend gemacht, dafs ein plötzlicher Uebergang von Bewegung zur Ruhe durchaus nicht weniger begreiflich sey, als von einer geringern Bewegung zu einer gröfsern und umgekehrt. Eine unendliche Reihe mittlerer Zustände kann keine Verwandlung begreiflicher machen, als sie an sich schon ist, sobald eine genügende Ursache derselben erkannt wird, denn unendlich kleine Abstufungen bleiben allezeit wirkliche Stufen, wenn sie überhaupt vorstellbar seyn sollen, und müssen wirkliche Unterschiede haben, da das absolut unendlich Kleine mit dem Nichts zusammenfällt und unserer Vorstellung entschwindet.

Diesemnach kann also von einem Gesetze der Stetigkeit nur insofern die Rede seyn, als dasselbe aus der Erfahrung abstrahirt wird und bei allen denjenigen Phänomenen nothwendig statt finden mufs, wo irgend eine Gröfse als wirklich existirend angenommen wird, ohne die gleichzeitige Existenz einer Ursache, die das Gegebene entweder plötzlich oder in mefsbaren Räumen und Zeiten, allmälig wieder aufhebt.

M.

---

1 Diss. de lege Continui in natura. Lips. 1750. 4.
2 Mém. de l'Acad. de Berlin. 1746. p. 284.

Stickstoff.

Salpeterstoff; *Azotum, Nitrogenium*; Azote; *Nitrogen*; bis jetzt nur in Gasform als Stickgas, Salpeterstoffgas, Stickluft oder phlogistisirte Luft bekannt und als solches ein Hauptgemengtheil der atmosphärischen Luft. Man erhält das Stickgas rein, indem man der Luft durch brennbare Körper, wie Phosphor u. s. w., den Sauerstoff und, durch Alkalien, die Kohlensäure entzieht, oder durch Zersetzung des Ammoniaks mittelst Chlors. Es ist ein farbloses Gas von 0,9706 spec. Gew., nicht brennbar, das Verbrennen anderer Körper nicht unterhaltend, geschmack- und geruchlos, beim Einathmen nur negativ schädlich[1], ohne Wirkung auf Pflanzenfarben, nur sehr wenig vom Wasser verschluckbar. Der Stickstoff geht 5 Verbindungen mit Sauerstoff ein:

1) *Stickoxydul*, *oxydirtes Stickgas* (14 Stickstoff auf 8 Sauerstoff), durch Erhitzen des salpetersauren Ammoniaks zu erhalten, erscheint unter sehr starkem Drucke als tropfbare Flüssigkeit, unter gewöhnlichem als Gas. Erstere besitzt von allen bis jetzt untersuchten tropfbaren Flüssigkeiten die geringste lichtbrechende Kraft. Das Gas ist farblos, von 1,5252 spec. Gew., zeigt beim Einathmen einen süßlichen Geschmack und erregt bei den meisten Personen angenehme, bis zur höchsten Fröhlichkeit und Trunkenheit und endlich bis zur Bewußtlosigkeit steigende Gefühle, bei raschem Erstickungszufalle, und es würde bei längerem Einathmen tödtlich wirken. Kohle, Phosphor, Schwefel, Eisen u. s. w., gehörig erhitzt, verbrennen darin mit viel lebhafterem Lichte, als in atmosphärischer Luft, Stickgas ausscheidend.

2) *Stickoxyd*, *Salpetergas* (14 Stickstoff auf 16 Sauerstoff), entwickelt sich beim Auflösen von Kupfer- und vielen anderen Metallen in Salpetersäure als ein farbloses Gas von 1,0399 spec. Gew., welches an der Luft durch Anziehen von Sauerstoff gelbrothe Dämpfe von salpetriger Säure erzeugt und worin Kohle und Phospor, stark erhitzt, mit Lebhaftigkeit verbrennen, während brennender Schwefel und ein brennender Spahn darin erlöschen.

---

1 S. *Gas*. Bd. IV. S. 1076.

3) *Untersalpetrige Säure* (14 Stickstoff auf 24 Sauerstoff), durch starke Erkältung eines Gemenges von 4 Mafs Stickoxydgas und 1 Mafs Sauerstoffgas als eine sehr flüchtige grüne (wohl eigentlich blaue) Flüssigkeit zu erhalten, mit mehreren Salzbasen verbindbar und mit Schwefelsäure und Wasser eine weifse krystallinische Verbindung eingehend, auf deren Bildung beim Zusammentreffen von schwefliger Säure, Salpetergas, Luft und Wasserdampf die Darstellung des englischen Vitriolöls beruht.

4) *Salpetrige Säure* (14 Stickstoff auf 32 Sauerstoff) geht bei der Destillation des salpetersauren Bleioxyds, wobei Sauerstoffgas frei wird, als eine in der Kälte sehr blafsgelbe, bei gewöhnlicher Temperatur pomeranzengelbe Flüssigkeit von 1,451 spec. Gew. über, die schon bei 27° siedet und sich in einen gelbrothen Dampf von eigenthümlichem erstickenden Geruche verwandelt. Sie wirkt auf die meisten brennbaren Stoffe sehr oxydirend und zersetzt sich in Berührung mit Wasser gröfstentheils in Salpetersäure, untersalpetrige Säure und Stickoxyd, so wie sie mit Alkalien keine eigenthümliche Salze liefert, sondern Gemenge aus salpetersauren und untersalpetrigsauren Salzen.

5) *Salpetersäure* (14 Stickstoff auf 40 Sauerstoff) entsteht bei wiederholtem Durchschlagen elektrischer Funken durch ein Gemenge von Sauerstoffgas und Stickgas über Wasser, vorzüglich jedoch beim Verwesen stickstoffhaltiger, organischer Materien in Berührung mit Wasser, Luft und einem Alkali. Man kennt sie nicht im wasserfreien Zustande. Die wasserhaltige Säure erhält man durch Destillation des salpetersauren Kali's mit wasserhaltiger Schwefelsäure. Sie ist farblos (bei Gehalt an salpetriger Säure gelb), in möglichst concentrirtem Zustande von 1,55 spec. Gew. und gefriert in diesem Falle nur in den höchsten Kältegraden. Sie riecht viel schwächer, als die salpetrige Säure, und wirkt äufserst zerstörend auf die meisten organischen Stoffe, so wie sie auch theils bei gewöhnlicher, theils bei höherer Temperatur an Wasserstoff, Boron, Phosphor, Schwefel, Selen, Iod und viele Metalle ihren Sauerstoff, oft unter heftiger Wärmeentwicklung und unter Freiwerden von Stickgas, Stickoxydulgas, Stickoxydgas oder salpetriger Säure, abgiebt. Ihr Gemisch mit wässeriger Salzsäure, die Salpetersalzsäure oder das Königswasser, ent-

Digitized by Google

wickelt allmälig Chlor und salpetrige Säure und dient zur Auflösung des Goldes, Platins und einiger anderer Metalle.

Die Verbindungen der Salpetersäure mit Salzbasen oder die salpetersauren Salze sind, wenn die Basis nicht vorwaltet, alle in Wasser löslich. Sie verlieren in der Glühhitze ihre Säure, meist in zersetzter Gestalt. Mit Kohle und vielen andern brennbaren Körpern verpuffen sie in der Hitze, indem der in der Salpetersäure losgebundene Sauerstoff unter Feuer- und Gasentwicklung eine innigere Verbindung mit den brennbaren Körpern eingeht.

Mit dem Wasserstoff bildet der Stickstoff, aufser einigen nicht für sich bekannten Verbindungen[1], das *Ammoniak* (14 Stickstoff auf 3 Wasserstoff). Dieses bildet sich vorzüglich bei der Fäulnifs und bei der trockenen Destillation thierischer Stoffe. Es wird durch Erhitzen von salzsaurem Ammoniak mit Kalk als ein Gas entwickelt, läfst sich jedoch durch sehr verstärkten Druck zu einer farblosen, sehr dünnen, das Licht stärker als Wasser brechenden Flüssigkeit verdichten. Das Ammoniakgas ist farblos, von 0,5893 spec. Gew., nicht respirabel, von sehr stechendem Geruche, scharf alkalischem Geschmacke und alkalischer Wirkung auf Pflanzenfarben. Wegen seines Wasserstoffgehaltes zeigt es sich etwas brennbar.

Vom Wasser wird es sehr reichlich verschluckt[2], das *wässerige Ammoniak* oder den *ätzenden Salmiakgeist* bildend, den man darstellt, indem man das aus Salmiak und Kalk entwickelte Ammoniakgas in einem woulfischen Apparate durch Wasser leitet. Diese Flüssigkeit hat bei möglichster Concentration ein spec. Gew. von 0,85, gefriert erst bei — 49° und entwickelt schon bei 55° alles Ammoniak in Gasgestalt.

Sowohl Phosphor als auch Iod absorbiren viel Ammoniakgas, ersterer ein braunschwarzes Pulver, letzteres eine schwarzbraune, sehr zähe Flüssigkeit erzeugend.

Die Verbindungen des Ammoniaks mit Säuren oder die *Ammoniaksalze* sind alle in Wasser löslich, werden in der Glühhitze theils verflüchtigt, theils zersetzt, entwickeln mit fixen Alkalien den Geruch des Ammoniaks und geben in wenig Wasser gelöst mit schwefelsaurer Alaunerde, salzsaurem Pla-

---

1 S. unter andern *Quecksilber*. Bd. VII. S. 1022.
2 Vergl. *Absorption*. Bd. I. S. 46.

Digitized by Google

tinoxyd und meistens auch mit Weinsäure krystallinische Niederschläge. Die wichtigsten Ammoniaksalze sind folgende:

Das *salpetersaure Ammoniak* oder der *flammende Salpeter*, in langen Säulen anschiefsend, zerfliefslich, bei gelinder Hitze in Wasser und Stickoxydulgas zerfallend, dagegen auf einer glühenden Unterlage mit blasser Flamme schwach verpuffend; das salzsaure Ammoniak oder der *Salmiak*, im Grofsen bereitet theils, wie in Aegypten, durch Sublimation aus dem beim Verbrennen des Kameelmistes erhaltenen Rufse, theils, wie gewöhnlich in Europa, durch Umwandlung des bei der Destillation des gefaulten Harns oder bei der trockenen Destillation fester thierischer Theile erhaltenen kohlensauren Ammoniaks in salzsaures Ammoniak mittelst verschiedener Zusätze, in Oktaedern und federförmig krystallisirend, unter dem Glühpuncte verdampfbar, von sehr salzigem Geschmack, in drei Theilen kalten Wassers löslich; das *schwefelsaure Ammoniak* von der Krystallform des *schwefelsauren Kali's*; das *hydrothionsaure Ammoniak*, in sehr leicht verdampfbaren, stark nach seinen beiden Bestandtheilen riechenden, farblosen Blättchen krystallisirend, in Wasser gelöst die *flüchtige Schwefelleber* darstellend, nur dafs diese zugleich hydrothionigsaures Ammoniak enthält und dadurch braungelb gefärbt ist; *kohlensaures Ammoniak*, flüchtiges *Hirschhornsalz*, im Grofsen aus einem Gemenge von Salmiak und Kreide durch Sublimation gewonnen, von ammoniakalischem Geruch und Geschmack und leicht verdampfbar.

Das Ammoniak bildet feste, der Detonation fähige Verbindungen mit Quecksilber-, Silber-, Gold- und Platin-Oxyd, und sehr viele schwere Metalloxyde zeigen sich in wässerigem Ammoniak löslich. Mit Phosgengas, Chlorborongas und drittehalb Chlorphosphor verdichtet es sich zu weifsen pulverigen Verbindungen, von welchen die letztere sich bei abgehaltener Luft selbst in der Weifsglühhitze feuerbeständig zeigt, wiewohl sie aus drei gasförmigen Elementen und einem leicht verdampfbaren zusammengesetzt ist[1]. Mit Fluorborongas verdichtet sich das Ammoniakgas je nach dem Verhältnisse zu einem weifsen Pulver oder zu einer wasserhellen Flüssigkeit. Auch wird das Ammoniakgas von vielen Chlormetallen und

1 Vergl. *Gas.* Bd. IV. S. 1074.

trocknen Salzen der Sauerstoffsäuren in grofser Menge verschluckt.

Bringt man die wässerige Lösung des Salmiaks oder einiger andern Ammoniaksalze mit Chlor in Berührung, so tritt dieses theils mit dem Wasserstoff des Ammoniaks zu Salzsäure in Verbindung, theils mit dessen Stickstoff zu *Chlorstickstoff*, welcher als ein gelbes, sehr flüchtiges, scharf riechendes und die Augen schmerzhaft reizendes Oel von 1,653 spec. Gew. zu Boden sinkt. Dieses ist die gefährlichste verpuffende Verbindung, die durch geringe, oft nicht einmal anzugebende, Veranlassungen, namentlich durch Temperaturerhöhung, Berührung mit Phosphor, Fett und vielen andern Körpern mit der gröfsten Heftigkeit unter starkem Knall und Zerschmetterung der Gefafse verpufft, indem sich ihre losgebundenen Bestandtheile plötzlich in Gasgestalt in Freiheit setzen.

Der *Iodstickstoff*, den man durch Uebergiefsen von gepulvertem Iod mit wässerigem Ammoniak, Filtriren und Auswaschen als ein schwarzes Pulver erhält, verpufft nach dem Trocknen fast noch leichter, doch mit minderer Heftigkeit.

G.

Stillstand der Planeten.

Statio planetarum; **Station des Planètes**; *Station of Planets.*

Die Planeten bewegen sich bekanntlich alle nach der Ordnung der Zeichen oder von West gen Ost um die Sonne, so dafs also die Bahn derselben aus dem Mittelpuncte der Sonne gesehn sehr einfach, nämlich als ein grösster Kreis des Himmels erscheint, da die Ebenen dieser Bahnen alle durch den Sonnenmittelpunct gehn. Allein von der Erde gesehn erscheinen diese Bahnen als sehr verwickelte krumme Linien, weil nämlich die Erde sich ebenfalls um die Sonne bewegt und sonach der Standpunct, aus welchem der Beobachter die Planeten betrachtet, ein veränderlicher ist, so dafs also in der von uns beobachteten Bahn sich die beiden Bewegungen, die des Planeten und die der Erde, combiniren, woraus mehrere und sehr mannigfaltige Verwicklungen entstehn.

Digitized by Google

Eine der auffallendsten der aus dieser Ursache entspringenden Erscheinungen ist die, dafs man die Planeten einige Zeit lang am Himmel fast gänzlich still stehn sieht, worauf sie eine retrograde (gen West gerichtete) Bewegung annehmen, die anfangs wächst und dann, wenn sie ihr Maximum erreicht hat, wieder abnimmt, bis sie endlich ganz verschwindet und der Planet wieder still steht, worauf er allmälig wieder seine gewöhnliche rechtläufige (gen Ost gewendete) Bewegung annimmt. Es ist schon an sich interessant, diese Puncte des Himmels kennen zu lernen, in welchen der Planet still steht, und den Bogen seiner Bahn, den er in retrograder Bewegung zurücklegt, sowie die Zeit, die er dazu verwendet. Aufserdem giebt aber dieses Problem auch noch ein Mittel, die Entfernung des Planeten von der Sonne kennen zu lernen, ein Mittel, das zwar jetzt, wo wir bessere Methoden besitzen, nicht mehr gebraucht wird, das aber unsern Vorgängern in manchen Fällen sehr willkommen seyn mufste, wie man es denn auch noch bei der Entdeckung des Uranus, im J. 1781, mit Nutzen anzuwenden Gelegenheit hatte.

Die ersten Elemente dieser Erscheinungen sind bereits oben[1] angedeutet worden, daher wir uns hier dabei nicht weiter aufhalten, sondern nur zusehn wollen, wie wir diese Phänomene genauer, als dort blofs im Vorübergehn geschehn konnte, zu bestimmen vermögen.

Nehmen wir der gröfsern Einfachheit wegen die Bahnen der sämmtlichen Planeten als kreisförmig und in den Ebenen der Ekliptik an und bezeichnen wir den Halbmesser der Bahn eines Planeten durch a, während der Halbmesser der Erdbahn als die Einheit aller unserer Dimensionen angenommen werden soll. Sey ferner l die heliocentrische (von der Sonne gesehne) und λ die geocentrische (von der Erde gesehne) Länge des Planeten und L die heliocentrische Länge der Erde, die bekanntlich immer gleich 180° mehr der Länge der Sonne ist. Dieses vorausgesetzt hat man bekanntlich die einfache Gleichung

$$\text{Tang.}\,\lambda = \frac{a\,\text{Sin.}\,l - \text{Sin.}\,L}{a\,\text{Cos.}\,l - \text{Cos.}\,L}.$$

Differentiirt man diesen Ausdruck in Beziehung auf λ, l

1 S. Art. *Planet.* Bd. VII. S. 584.

und L und setzt dann für den Stillstand der geocentrischen Länge das Differential von λ gleich Null, so erhält man

$$a\,\frac{dl}{dL} = -\,\frac{[1 - a\,\mathrm{Cos.}\,(l-L)]}{a - \mathrm{Cos.}\,(l-L)}.$$

Nach dem dritten Gesetze Keppler's verhalten sich aber die Quadrate der Umlaufszeiten wie die Würfel der grofsen Axen. Da sich ferner bei den gleichförmigen Bewegungen in Kreisen die in denselben Zeiten durchlaufenen Bogen dl und dL verkehrt wie die Umlaufszeiten verhalten, so hat man

$$\frac{dl^2}{dL^2} = \frac{1}{a^3},$$

so dafs daher die vorhergehende Gleichung in die folgende übergeht

$$\mathrm{Cos.}\,(l-L) = \frac{a^{\frac{1}{2}}(1 + a^{\frac{1}{2}})}{1 + a^{\frac{3}{2}}},$$

und diese Gleichung giebt die heliocentrische Länge l des Planeten für den Augenblick seines Stillstands, wenn für diesen Augenblick die heliocentrische Länge der Erde gleich L ist. Nimmt man also L nach der Ordnung gleich 0°, 10°, 20° ..., so kann man mittelst jener Gleichung eine Tafel entwerfen, die für jeden gegebenen Ort der Erde die heliocentrische Länge des Planeten für das Moment seines Stillstands giebt.

Aufserdem hat man durch die einfache Auflösung eines ebnen Dreiecks

$$\mathrm{Tang.}\,(\lambda - L) = \frac{-\,a\,\mathrm{Sin.}\,(l-L)}{1 - a\,\mathrm{Cos.}\,(l-L)} \text{ und}$$

$$\mathrm{Tang.}\,(\lambda - l) = \frac{\mathrm{Sin.}\,(l-L)}{a - \mathrm{Cos.}\,(l-L)},$$

so dafs man also auch die Gröfsen $\lambda - L$ und $\lambda - l$ blofs durch die Gröfse a ausdrücken kann. Man findet so, wenn man den vorhergehenden Werth von $l - L$ substituirt,

$$\mathrm{Tang.}\,(\lambda - L) = \frac{a}{\sqrt{1+a}}$$

$$\mathrm{Tang.}\,(\lambda - l) = \frac{1}{\sqrt{a\,(1+a)}} \text{ und}$$

$$\mathrm{Tang.}\,(l-L) = (1-\sqrt{a}).\sqrt{\frac{1+a}{a}}.$$

Auch lassen sich aus diesen Ausdrücken sehr leicht an-

dere ableiten, die unmittelbar die Gröfse l oder λ durch L geben. Man findet nämlich

$$\text{Cos. } l = m \text{ Cos. } L + \sqrt{1-m^2} \cdot \text{Sin. } L$$

$$\text{und Cos. } \lambda = \frac{\text{Cos. } L - n \text{ Sin. } L}{\sqrt{1+n^2}},$$

wo der Kürze wegen

$$m = \frac{a^{\frac{1}{2}}(1+a^{1})}{1+a^{\frac{1}{2}}} \text{ und } n = \frac{a}{\sqrt{1+a}}$$

gesetzt worden ist.

Nachdem so der Ort des Planeten für seinen Stillstand auf mehr als eine Art gefunden worden ist, wollen wir nun auch den Bogen bestimmen, der zwischen diesem Orte und demjenigen Puncte der Planetenbahn enthalten ist, wo der Planet mit der Sonne in Conjunction war oder wo er mit der Sonne dieselbe Länge hatte.

Zu diesem Zwecke nehmen wir die vorige Gleichung

$$\text{Cos. } (l - L) = m$$

wieder vor und bemerken, dafs, da $\frac{dl}{dL} = \frac{1}{a^{\frac{3}{2}}}$ war, auch

$\frac{l}{L} = \frac{1}{a^{\frac{3}{2}}}$ seyn mufs. Verbinden wir diese beiden Gleichungen mit einander, so hat man

$$\text{Cos. } (a^{\frac{3}{2}} - 1)\, l = m$$

$$\text{und Cos. } (a^{\frac{3}{2}} - 1)\, L = a^{\frac{3}{2}} \cdot m$$

und diese Gleichungen geben den Bogen l, welchen der Planet, oder auch den Bogen L, welchen die Erde in heliocentrischer Bewegung seit dem Momente der Conjunction der Erde mit dem Planeten bis zum Stillstande des letztern zurückgelegt hat. Substituirt man endlich die so gefundenen Werthe von l und L in der ersten der hier aufgestellten Gleichungen, so erhält man auch denjenigen Bogen λ, welchen der Planet während derselben Zwischenzeit in geocentrischer Bewegung zurückgelegt hat. Da man aber l oder L kennt, so darf man nur l durch die bekannte tägliche Bewegung des Planeten oder auch L durch die tägliche Bewegung der Erde dividiren, um sofort auch die Zeit oder die Anzahl Tage zu erhalten, die zwischen dem Augenblicke der Conjunction und dem

des Stillstands verflossen sind, wodurch demnach unser Problem in allen seinen Theilen aufgelöst ist.

Um das Vorhergehende auf einen besondern Fall anzuwenden, so hat man für die Bahn des Uranus $a = 19{,}0818$, wenn der Halbmesser der Erdbahn gleich 1 ist. Dieses giebt sofort

$$\text{Tang.}(\lambda - L) = \frac{a}{\sqrt{1+a}} \text{ oder } \lambda - L = 103^\circ\,13',$$

woraus also folgt, dafs Uranus still steht, wenn er 103° 13′ östlich oder westlich in Länge von der Sonne entfernt ist.

Ebenso geben die beiden letzten der vorhergehenden Gleichungen für diesen Planeten

$$\text{Cos.}\,[0{,}988003\,L] = 0{,}27799$$
$$\text{und Cos.}\,[82{,}35448\,l] = 0{,}27799,$$

woraus folgt $L = 74^\circ\,45'\,30''$ und $l = 0^\circ\,53'\,48''$ für die heliocentrische Bewegung der Erde und des Planeten von der Conjunction bis zum Stillstande.

Da aber die tägliche mittlere Bewegung der Erde 0°,9856 und die des Uranus 0°,011825 ist, so hat man

$$\frac{74^\circ\,45'\,30''}{0{,}9856} = \frac{0^\circ\,53'\,48''}{0{,}011825} = 75{,}85 \text{ Tage}$$

oder Uranus gebraucht 75,85 Tage von der Conjunction mit der Erde oder von der Opposition mit der Sonne, um bis zum Puncte seines Stillstands zu kommen. Von dem westlichen Stillstandspuncte bis zum östlichen gebraucht er also die doppelte Zeit oder 151,70 Tage und in dieser Zeit legt er den Bogen $2\,(0^\circ\,53'\,48'') = 1^\circ{,}79$ zurück. Die erste unserer vorhergehenden Gleichungen endlich giebt mit den gefundenen Werthen von l und L den Werth von

$$\lambda = 2^\circ\,1'\,39'',$$

so dafs er in der Zeit zwischen seinen zwei Stillständen oder während der Zeit seiner retrograden Bewegung in geocentrischer Länge der Bogen 4° 3′ 18″ zurücklegt.

Führt man dieselben Rechnungen für alle ältere Planeten aus, so erhält man folgende Tafel:

	Oestl. und westl. Ausweichung von der Sonne beim Stillstand.	Bogen des Rückgangs geocentrisch.	Dauer des Rückgangs.
			Tage.
Mercur	17°	12°	17
Venus	29	16	42
Mars	137	14	70
Jupiter	117	10	119
Saturn	108	7	136
Uranus	103	4	152

Allein diese Zahlen sind nur als die mittlern Werthe der wahren Gröfsen zu betrachten. In dem Vorhergehenden ist nämlich auf die Excentricität und auf die Neigung der Planetenbahnen gegen die Ekliptik keine Rücksicht genommen worden. Dadurch ändert z. B. Uranus seine Ausweichung für den Stillstand von 102°,4 bis 103°,5, seinen Rückgangsbogen von 4°,1 bis 4°,2 und die Dauer seiner retrograden Bewegung von 149,3 bis 152,7 Tage und noch viel stärker sind diese Aenderungen bei Mercur und bei den 4 neuen Planeten[1]. Wenn man dieses Problem mit Rücksicht auf die Excentricität und Neigung der Bahn betrachtet, so ist die Auflösung desselben mit Schwierigkeiten verbunden. Die erste Auflösung dieses allgemeinen Problems versuchte J. E. Mayer[2], aber sie liefs noch manches zu wünschen übrig. Cagnoli[3] gab eine bessere Auflösung und Professor Raabe[4] in Zürich hat neuerdings gleichfalls eine Auflösung desselben bekannt gemacht.

Es wurde oben erinnert, dafs man aus der Beobachtung des Stillstands eines Planeten seine Entfernung a von der Sonne finden kann. Da man nämlich für diese Zeit des Stillstands die beiden Gröfsen λ und L aus der Beobachtung kennt, so wird man aus der vorhergehenden Gleichung

$$\text{Tang.}(\lambda - L) = \frac{a}{\sqrt{1+a}}$$

die Gröfse a ableiten können. Ist nämlich $\text{Tang.}(\lambda - L) = b$, so hat man

$$a = \tfrac{1}{2}b^2 + b\sqrt{1+\tfrac{1}{4}b^2}.$$

1 S. Astronomisches Jahrbuch 1788. S. 168.
2 Mém. de Petersb. 1727 und 1730.
3 Mém. de la Soc. Ital. T. III.
4 Annalen der Wiener Sternwarte. Th. XII.

Digitized by Google

Allein diese Bestimmung ist, wie gesagt, nicht genau, da hier die Bahn der Planeten kreisförmig und in der Ekliptik liegend vorausgesetzt wird. Sie würde aber auch ohne diese Voraussetzung für die Ausübung keine grofsen Vortheile gewähren, da es sehr schwer ist, den Augenblick des Stillstands genau aufzufassen.

Bemerken wir noch, dafs für die beiden untern Planeten noch eine zweite Art von Stillstand, nämlich der der *Ausweichung* von der Sonne, statt hat. Wenn diese Planeten in Conjunction mit der Sonne und zugleich am weitesten von der Erde entfernt sind, so ist ihre directe (östliche) Bewegung am schnellsten und sie entfernen sich auch zugleich am geschwindesten von der Sonne. Wenn aber *Mercur* z. B. sich bis auf nahe 25 Grade auf diese Weise östlich von der Sonne entfernt hat, so ist er, wie man sagt, in seiner gröfsten östlichen *Ausweichung* (oder *Elongation*) und von dieser Zeit an beginnt er sich der Sonne wieder zu nähern, obschon seine Bewegung noch immer östlich, aber auch zugleich sehr langsam geworden ist. Wenn er auf diesem Gange zur Sonne sich derselben etwa 17 Grade genähert hat, dann verschwindet nach der vorhergehenden Tafel seine Bewegung unter den Fixsternen gänzlich oder er ist in seinem *Stillstande der Länge;* früher aber, wo er aufhörte, sich von der Sonne zu entfernen, und wo er also anfing, ihr wieder näher zu kommen, war er in seinem *Stillstande der Ausweichung*. Dasselbe hat auch nach der untern Conjunction auf der Westseite der Sonne statt, nur mit dem Unterschiede, dafs hier der Stillstand der Länge *vor* dem der Ausweichung statt hat, während er dort dem letztern nachfolgte. Man hat aber überhaupt

$$\text{Sin.}(\lambda - L) = a\,\text{Sin.}(\lambda - l),$$

und da $\lambda - L$ oder $180° - (\lambda - L)$ die Ausweichung des Planeten von der Sonne überhaupt bezeichnet, so ist diese Ausweichung am gröfsten, wenn $\text{Sin.}(\lambda - l)$ am gröfsten, d. h. wenn $\lambda - l = 90°$ oder gleich $270°$, also auch wenn

$$\text{Sin.}(\lambda - L) = a$$

ist. Durch diesen Ausdruck erhält man also den Werth von $(\lambda - L)$ für den Augenblick der gröfsten Ausweichung oder für die Zeit des *Stillstands der Ausweichung*, während für den *Stillstand der Länge* nach dem Vorhergehenden der Werth von $(\lambda - L)$ aus der Gleichung

$$\text{Tang.}(\lambda - L) = \frac{a}{\sqrt{1+a}}$$

gefunden wird. Für die Venus ist z. B. $a = 0{,}7233$, also ist auch für die gröfste Ausweichung $\lambda - L = 46° 20'$ und für den Stillstand in Länge $\lambda - L = 28° 51'$, wie in der Tafel.

L.

Stofs.

Conflictus, collisio, percussio, impactus, impulsus; Choc; *Impact, Percussion, Collision.*

Ein Stofs erfolgt dann, wenn wenigstens zwei starre Körper, von denen gleichfalls mindestens einer in Bewegung seyn mufs, so zusammentreffen, dafs ihre Räume ganz oder theilweise zusammenfallen würden, wenn ihre Massen keinen Widerstand leisteten. Die hierbei vorhandene Bewegung kann ohne einen hinzukommenden Grund nicht vertilgt werden, und da beim Stofse die bewegten und ruhenden Massen zur Berührung kommen, so mufs die Bewegung oder eigentlicher die Gröfse der Bewegung[1] (*quantitas motus*) der Masse aller hierbei in Conflict kommenden Körper mitgetheilt werden, und die Untersuchung der Gesetze des Stofses bezieht sich also auf diejenigen Modificationen der gegebenen Bewegung, die in Folge dieses Zusammentreffens sowohl in den stofsenden, als auch in den gestofsnen Körpern vorgehn.

Dafs Körper einander stofsen, kommt oft als Erfahrung vor und die Bewegungsgesetze, worauf die alsdann erhaltenen Resultate beruhn, lassen sich leicht aus einfachen Principien entwickeln; um so mehr aber ist zu verwundern, dafs die ältern Mathematiker sie ganz unbeachtet liefsen und selbst Galilei die Aufgabe nur mangelhaft behandelte. Ausführlicher sind die Versuche des Cartesius[2], allgemeine Gesetze hierüber aufzustellen, allein seine Bemühungen scheiterten an dem Bestreben, diese mit seinen metaphysischen Vorstellun-

1 Vergl. Bd. I. S. 929. und über die ältern Streitigkeiten Muschenbroek Introd. T. I. p. 83.

2 Principia Philosophiae. Amst. 1685. 4. Part. II. §. 36.

Digitized by Google

gen über das Wesen der Bewegung in Einklang zu bringen. Hauptsächlich stellte er zwei Axiome auf, aus denen er dann die theils halb wahren, theils ganz falschen Gesetze des Stofses ableitete, nämlich zuerst, dafs die Gröfse der Bewegung in der Welt unveränderlich sey, weil Gott als unveränderliches Wesen die einmal erschaffene Menge von Bewegung weder vermehren, noch vermindern könne, und zweitens, dafs jeder Körper an sich eine Kraft besitze, in seinem vorigen Zustande zu beharren, also zu ruhen oder sich zu bewegen. Letzteres ist blofs das mifsverstandne Trägheitsgesetz, aus beiden wurden aber die unhaltbaren Folgerungen abgeleitet, wogegen schon Clerselier, ein Schüler das Cartesius, Einwendungen machte, die letzterer durch neue ungenügende Hypothesen zu widerlegen suchte[1]. Auch Montucla[2], so grofse Achtung er sonst gegen den gefeierten französischen Philosophen hegt, vermag nicht diese seine Theorie zu vertheidigen. Was nachher Honoratus Fabri, Joachim Jung und andere hierin leisteten, ist ohne eigentlichen Werth, besser dagegen sind die Ansichten von Borelli[3], wenn sie sich gleich nur auf einzelne Fälle beziehn und durch die Dunkelheit der Darstellung verlieren. Im Jahre 1668 äufserte die Londoner Societät den Wunsch, die besten Mechaniker unter ihren Mitgliedern möchten die Theorie der mitgetheilten Bewegung zum Gegenstande ihrer Forschungen machen und die erhaltenen Resultate vorlegen. Auf diese Veranlassung erschienen gleichzeitig die Abhandlungen[4] von Wallis, Wren und Huyghens, welcher letztere schon 1663 bei seinem Aufenthalte in London eine Auflösung des Problems gekannt, aber nicht bekannt gemacht haben soll. Wallis beschränkt sich auf das einfache Gesetz beim Stofse harter Körper und erst später hat er die Untersuchung auch auf elastische ausgedehnt[5]. Die Abhandlungen von Wren und Huyghens enthalten die Gesetze des Stofses elastischer Körper ohne Beweis, aber in einer kurzen und eleganten geometrischen Darstellung.

---

1 A. a. O. P. II. §. 56. Vergl. Lettres. T. I. 117.

2 Hist. des Mathem. T. II. P. IV. L. V. §. 6. L. VII. §. 1.

3 De vi percussionis. Bonon. 1666. 4.

4 Phil. Trans. No. XLIII. p. 864. No. XLVI. p. 926. Abhandl. zur Naturgesch., Physik und Oekon. Lpz. 1779. Th. I. Bd. I. S. 147.

5 Mechanica s. de motu. ed. 1669. Fol. Opp. T. I. Cap. XIII.

Huyghens sandte einige Monate später einen Nachtrag, worin die in dieser Lehre so wichtigen Sätze aufgestellt sind, dafs die Summe der Producte aus den Massen in die Quadrate der Geschwindigkeiten vor und nach dem Stofse gleich grofs bleiben und dafs die Gröfse der Bewegung zwar vermehrt und vermindert werden könne, aber doch allezeit nach einerlei Seite hin unverändert bleibe, wenn man die nach der entgegengesetzten gerichtete davon abziehe. Um aber die Auflösung dieser Aufgabe richtiger zu würdigen, darf man nicht übersehn, dafs das eigentliche Wesen der Elasticität damals weniger bekannt war, weil man die Eigenschaften der Körper aus der Natur der Materie selbst mehr als aus der Erfahrung abzuleiten suchte. Weit vollständiger und mit den erforderlichen Beweisen hat Huyghens die Aufgabe in einem erst nach seinem Tode erschienenen Werke behandelt[1].

Das Problem vom Stofse der Körper gewann ausnehmend an Klarheit, nachdem man anfing, die theoretischen Untersuchungen mit den Resultaten der Erfahrung zu verbinden, was zuerst durch Wren, weit ausführlicher aber durch Mariotte[2] geschah und von der Zeit an einen Hauptabschnitt in den Werken über die Physik und Mechanik, z. B. von Desaguliers, s'Gravesande, Nollet, Musschenbroek und andern ausmacht, wobei man sich eigner Maschinen, der *Stofs-* oder *Percussions-Maschinen*, bediente. Mehrere Gelehrte gaben aufserdem von verschiedenen Principien ausgehende Darstellungen der Aufgabe, z. B. Kraft[3], L. Euler[4], Joh. Bernoulli[5], Karsten[6], D'Alembert[7] und Maupertuis[8]. Ge-

---

1 Chr. Hugenii de motu corporum ex percussione lib. In Opp. rel. Amst. 1728. 4. T. II. p. 73.

2 Traité de la percussion ou choc des corps. A Par. 1677. Oeuv. de Mariotte. A la Haye 1740. T. I.

3 Mechanica lat. reddita et aucta a I. N. Tetens. Buzoviae 1773. 4.

4 Comm. Petrop. T. V. p. 159. Mém. de l'Acad. de Prusse. 1745. p. 50.

5 Opera omn. Laus. et Genev. 1742. 4. T. III. N. 135. p. 7. Comm. Petrop. T. VII. p. 15.

6 Lehrbegriff der ges. Math. Th. IV. Mechanik. Absch. XV. §. 230.

7 Traité de Dynamique §. 19. 127.

8 Mém. de Par. 1743. Mém. de l'Acad. de Prusse 1746.

Digitized by Google

genwärtig findet man diese Lehren in allen Handbüchern der Physik und der Mechanik durch Benutzung der gehaltreichen Arbeiten der Vorgänger mit hinlänglicher Klarheit vorgetragen, und es wird genügen, von diesen nur die Werke von Brandes[1], Brix[2], Poisson[3], Gregory[4], Barlow[5] und Venturoli[6] zu nennen.

Bei der Untersuchung der Bewegungsgesetze oder der mechanischen Principien betrachtet man in der Regel blofs die Masse der Körper, zuweilen mit Rücksicht auf ihr Volumen und ihre Geschwindigkeit, ohne ihre relativen Eigenschaften zu berücksichtigen, bei der Lehre vom Stofse ist dieses Verfahren aber nicht genügend, weil die letztern die beim Stofse in Betrachtung kommenden Bewegungsgesetze bedeutend modificiren. Man unterscheidet daher *harte* und *elastische* Körper, mit Uebergehung der weichen, indem diese eben durch den Stofs getrennt werden und man die Bewegung der zerstreuten Theile nach dem Stofse nicht weiter verfolgen kann. Härte sowohl, als auch Elasticität sind jedoch relative Eigenschaften, es giebt demnach keinen absolut harten und keinen absolut elastischen Körper, die aufzustellenden Gesetze müfsten also nach den zahllosen Abstufungen dieser Eigenschaften modificirt werden, was unmöglich ist, und es bleibt daher kein anderer Ausweg übrig, als bei den theoretischen Bestimmungen die Körper als absolut hart oder als absolut elastisch zu betrachten, je nachdem die eine oder die andere dieser Eigenschaften bei ihnen überwiegend ist, wobei man jedoch in Beziehung auf Elasticität die unvollkommen elastischen gleichfalls zu berücksichtigen pflegt. Um ferner vom Einfachen zum mehr Zusammengesetzten überzugehn, beschränkt man die Un-

---

1 Lehrbuch der Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung fester und flüss. Körper. Leipz. 1818. Th. II. S. 175 ff.

2 Elementar-Lehrbuch der dynamischen Wissensch. Berl. 1831. Th. III. S. 140.

3 Traité de Mécanique. T. II. p. 208.

4 Theoretische, praktische und beschreibende Darstellung der mechanischen Wissenschaften. Uebers. von Dietlein. Halle 1824. S. 855.

5 Encyclopedia Metropolitana. Art. Mechanics. p. 149.

6 Elementi di Meccanica e d'Idraulica. Milano 1817. II T. 8. T. I. p. 175.

Digitized by Google

tersuchung zuerst auf den sogenannten *centralen* Stofs, bei welchem die Mittelpuncte der beim Stofse zusammenkommenden Körper in der durchlaufenen Bahn liegen und alle bewegten Theile mit der Bahn des Mittelpunctes parallele Linien durchlaufen, so dafs keine Drehung nach dem Stofse entstehn kann. Zugleich untersucht man zuerst den *geraden* Stofs, wobei die sich berührenden Flächen einander parallel sind oder blofs zwei Puncte mit einander zur Berührung kommen.

I. Gerader Stofs.

1) Handelt es sich also zuerst um den *geraden, centralen* Stofs zweier harter Körper, deren Gestalt die der Kugel seyn möge, so seyen diese die beiden A und A′, ihre Mittelpuncte C und C′, ihre Bahn die Linie B D; sie mögen sich ferner in der Richtung von B nach D bewegen und zwar so, dafs A durch gröfsere Geschwindigkeit A′ einholt. Sind beide zusammendrückbar, so müssen sie einander zusammendrücken, bis ihre Geschwindigkeiten einander gleich sind, und dieses in so viel kürzerer Zeit, je weniger sie zusammendrückbar sind, also bei vollkommner Härte in unendlich kleiner Zeit und bis zu verschwindender Tiefe, d. h. gar nicht; doch werden sie sich vollständig berühren. Unter der Voraussetzung, dafs sie gar nicht elastisch sind, werden sie den erzeugten Eindruck beibehalten, mithin in Berührung bleiben und sich als gemeinschaftliche Masse weiter bewegen. Heifst dann die gemeinschaftliche Geschwindigkeit nach dem Stofse = u, die anfängliche Geschwindigkeit der schnellern Kugel A = v, der langsamern A′ = v′, die Masse der erstern = m, der letztern = m′, so folgt aus dem Grunde, weil A von seiner Geschwindigkeit verliert, A′ dagegen gewinnt, dafs der Verlust an Geschwindigkeit, welchen A durch den Stofs erleidet, = v — u und derjenige, welchen A′ erleidet, u — v′ sey. Nach dem Principe von D'Alembert wird aber das Gleichgewicht zwischen den beiden Massen hergestellt seyn, wenn sie mit diesen Geschwindigkeiten bewegt werden, und es ist demnach $m(v-u) = m'(u-v')$, woraus die Geschwindigkeit nach dem Stofse Fig. 378.

$$u = \frac{mv + m'v'}{m + m'} \quad \ldots\ldots (1$$

gefunden wird. Ist die Richtung der Bewegung des einen

Digitized by Google

Körpers der des andern entgegengesetzt, so müssen v und v' entgegengesetzte Zeichen erhalten und es wird

$$u = \frac{mv - m'v'}{m + m'}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2$$

wobei das Zeichen von u davon abhängt, ob mv gröfser oder kleiner ist, als m'v'.

2) Der hier bewiesene Satz läfst sich auf folgende Weise gleichfalls darthun. Nehmen wir an, dafs eine Kraft = f die Masse m mit einer Geschwindigkeit = v und die Kraft = f' die Masse m' mit einer Geschwindigkeit = v' bewegt habe, wonach also $f = mv$ und $f' = m'v'$ wäre, so würde f auf beide Massen vertheilt eine Geschwindigkeit $= \frac{mv}{m + m'}$ und f' eine Geschwindigkeit $= \frac{m'v'}{m + m'}$ erzeugen, welche summirt den obigen Werth von u geben.

Ist einer von beiden Körpern ruhend, so wird für ihn $v = 0$, und wenn also für m' die Geschwindigkeit $v' = 0$ ist, so erhält man

$$u = \frac{mv}{m + m'}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3$$

In allen diesen drei Formeln hat u einen gewissen Werth, wie grofs auch immer die einzelnen Gröfsen m und m', v und v' seyn mögen; es mufs daher bei jedem Stofse eine Bewegung erfolgen. Dieses scheint mit der Erfahrung im Widerspruche zu stehn, indem man annimmt, dafs ein Fels oder Berg sich nicht bewegt, wenn man mit einem mäfsig grofsen Hammer dagegen schlägt. Allein das Argument ist nur scheinbar, denn man kann immerhin zugestehn, dafs in einem solchen Falle Bewegung entstehe, aber die Rechnung ergiebt, dafs sie nicht anders als unmefsbar klein seyn mufs. Cartesius[1] sagt daher, ein mit dem Fufse auf die Erde stofsender Mensch setze die ganze Erde in Bewegung, deren Masse jedoch im Verhältnifs zu der des Menschen als unendlich grofs betrachtet werden kann, wonach also $u = \frac{mv}{\infty + m} = 0$ werden müfste.

3) Sind die stofsenden Körper beide oder ist einer der-

1 Epist. T. II. ep. 94.

selben elastisch, der andere aber hart, so wird gleichfalls durch den Stofs ein Eindruck, eine Zusammendrückung in ihnen erzeugt werden, und diese Wirkung mufs der Ursache, also der Kraft, womit sie zusammengetrieben werden, proportional seyn. Die Elasticität setzt aber voraus, dafs die zusammengedrückten Theile in ihre vorige Lage zurückzukehren streben, und wäre ihre Elasticität vollkommen, so würde dieses mit einer gleichen Kraft geschehn, als womit sie zusammengedrückt sind[1]. Fiele also eine elastische Kugel im luftleeren Raume auf eine horizontale harte Platte aus einer Höhe $= h$, so erhielte sie einen dieser Fallhöhe zukommenden Eindruck und müfste bei vollkommner Elasticität bis zu gleicher Höhe wieder hinaufgetrieben werden, mithin ein *perpetuum mobile* bilden. Ist der Körper nicht vollkommen elastisch, so wird er die vorige Höhe nicht wieder erreichen, sondern um so mehr unter derselben zurückbleiben, je weniger elastisch er ist. Setzt man die vollkommne Elasticität $= 1$, die unvollkommne des Körpers $= w$, das Verhältnifs beider also $= 1 : w$, so verhalten sich die Geschwindigkeiten für beide Zustände, wie $1 : w$, die beim Falle durchlaufnen Räume aber wie $1^2 : w^2$, und wäre also der Körper 16 Fufs hoch herabgefallen, stiege aber nur 9 Fufs wieder in die Höhe, so verhielte sich seine Elasticität zur vollkommnen, wie

$$\sqrt{9} : \sqrt{16} \text{ oder wie } 3 : 4.$$

Aus diesem Verhältnisse, wonach die durchlaufnen Räume sich wie die Quadrate der Geschwindigkeiten, oder die Quadrate der Elasticitäten $= 1^2 : w^2$ verhalten, läfst sich der ganze Raum finden, welchen ein Körper durchläuft, wenn er von einer gegebnen Höhe herabfällt und dann zu einer stets verminderten Höhe wieder aufsteigt. Ist nämlich die anfängliche Höhe $= h$, so ist die Summe aller Höhen

$$h + 2w^2h + 2w^4h + 2w^6h + \ldots,$$

eine unendliche Reihe, worin die letzten Glieder aber verschwindend klein werden. Die Summe dieser Reihe ist

$$\Sigma = 2h\,(1 + w^2 + w^4 + w^6 + \ldots) - h,$$

und da der Exponent dieser Reihe $= w^2$ ist, so wird

$$1 + w^2 + w^4 + w^6 + \ldots = \frac{1}{1 - w^2},$$

---

1 Vergl. *Elasticität*. Bd. III. S. 177.

also

$$\Sigma = \frac{2h}{1 - w^2} - h = \frac{1 + {}^2}{1 - w^2}\, h.$$

Wäre also $h = 100$ Fufs und $1 : w = 1 : \frac{15}{16}$, so erhielte man

$$\Sigma = \frac{1 + (\frac{15}{16})^2}{1 - (\frac{15}{16})^2} \times 100 = 1551 \text{ Fufs.}$$

Die Zeiten verhalten sich aber wie die Geschwindigkeiten, also wie die Elasticitäten, also wie $1 : w$, und für den Fallraum $= h$ ist die Zeit $t = \sqrt{\frac{h}{g}}$. Die Zeiten sind hiernach

$$t + 2wt + 2w^2t + 2w^3t + \ldots\ldots$$

gleichfalls ins Unendliche; die Summe dieser Zeiten aber, oder die ganze Zeit des Fallens und Aufsteigens, die durch die Summirung dieser Reihe erhalten wird, den Werth für t substituirt, ist

$$T = 2\sqrt{\frac{h}{g}} \times \frac{1}{1 - w} - \sqrt{\frac{h}{g}}$$

$$= \frac{1 + w}{1 - w} \times \sqrt{\frac{h}{g}},$$

und für die obigen numerischen Werthe

$$T = \frac{1 + \frac{15}{16}}{1 - \frac{15}{16}} \times \sqrt{\frac{100}{15}} = 80{,}04 \text{ Secunden.}$$

4) Zur Auffindung der Gesetze des Stofses vollkommen elastischer Körper[1] denke man sich zwei Körper A und A', deren Massen und Geschwindigkeiten mv und m'v' seyn mögen. Der Leichtigkeit wegen wird angenommen, dafs diese Producte gleich und entgegengesetzt sind, folglich einander aufheben. Durch den Berührungspunct E lege man eine Ebene MN lothrecht auf die Linie BD, betrachte diese als eine feste, gegen welche stofsend beide ihre Geschwindigkeiten v und v' verlieren, aber durch ihre Elasticität in entgegengesetzter Richtung wieder erlangen, also mit gleicher Geschwindigkeit wieder zurückspringen. Wie die Geschwindigkeiten v und v' seyn mögen, so können wir immerhin sie aus zwei andern zusammengesetzt annehmen, wovon die eine beiden gemein ist und nach Willkür angenommen wird, die andere gleich dem Un-

Fig. 379.

1 Hierüber handelt Cauchy in Bulletin philom. 1826. p. 180.

Digitized by Google

terschiede zwischen den wirklichen Geschwindigkeiten und der willkürlich angenommenen. Heifst diese $= u$, so nimmt man statt v die beiden u und $v - u$, statt v' aber u und $v' - u$ oder $-(u - v')$. Es seyen ferner die Geschwindigkeiten beider nach dem Stofse V und V', und um beide Fälle der Bewegung nach der nämlichen und nach entgegengesetzten Seiten zusammenzufassen, möge vorausgesetzt werden, dafs v allezeit positiv sey, die übrigen Gröfsen u, v', V und V' aber sowohl positiv als auch negativ seyn können. Hiernach treffen die beiden Körper mit einer Geschwindigkeit $v - u$ und $u - v'$ gegen einander, während die gerade Linie BD, wenn sie sich gleichfalls bewegte, die Geschwindigkeit u haben würde, ohne dafs hieraus ein Einfluſs auf den Stofs beider Körper erwächst.

Die bisher als unbestimmt angenommene Geschwindigkeit u möge nun so festgesetzt werden, dafs $m(v-u) = m'(u-v')$ ist, so erhält man

$$u = \frac{mv + m'v'}{m + m'}.$$

Weil aber aus dem oben Gesagten folgt, dafs zwei elastische Körper, welche mit solchen Geschwindigkeiten sich treffen, dafs die Producte ihrer Massen in ihre respectiven Geschwindigkeiten einander gleich sind, mit gleichen Geschwindigkeiten zurückgeschnellt werden, als womit sie zusammenstiefsen, so mufs der Körper A, abstrahirt von der angenommenen Bewegung der Linie BD, mit einer Geschwindigkeit $= v - u$, der Körper A' aber mit einer Geschwindigkeit $= u - v'$ zurückspringen, und ihre Geschwindigkeit, wenn die Gröfse u wieder eingeführt wird, ist also nach dem Stofse $= u - (v - u)$ für A und $= u + (u - v')$ für A'. Sonach ist

$$V = u - (v - u) = 2u - v,$$
$$V' = u + (u - v') = 2u - v'$$

$$\text{oder } V = 2\,\frac{mv + m'v'}{m + m'} - v = \frac{(m - m')v + 2m'v'}{m + m'}$$
$$V' = 2\,\frac{mv + m'v'}{m + m'} - v' = \frac{(m' - m)v' + 2mv}{m + m'} \Bigg\} \ldots (4$$

Hierbei ist angenommen, dafs v und v' in der nämlichen Richtung statt finden, also beide positiv sind, wodurch nach dem

Stofse v' negativ wird. Soll dieses aber positiv werden, so folgt

$$\left.\begin{aligned} V &= \frac{(m-m')v-2m'v'}{m+m'} \\ V' &= \frac{(m-m')v'+2mv}{m+m'} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (5$$

und wenn einer von beiden Körpern, z. B. A' in Ruhe ist, also die Masse $= m'$ ruht und $v' = 0$ wird, so folgt

$$\left.\begin{aligned} V &= \frac{(m-m')v}{m+m'} \\ V' &= \frac{2mv}{m+m'} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (6$$

5) Von diesen Ausdrücken lassen sich leicht Anwendungen machen. Sind zuerst die Massen m und m' einander gleich, so wird $V = V'$, d. h. die Kugeln werden mit verwechselten Geschwindigkeiten aus einander fliegen. Sind die Massen und Geschwindigkeiten ungleich und zwar $m = 6$, $m' = 5$, die Geschwindigkeiten $v = 7$, $v' = 4$, beide positiv, so wird aus der Gleichung 4.

$$V = \frac{(6-5)7+2.5.4}{6+5} = \frac{47}{11} = 4\frac{3}{11},$$

$$V' = \frac{(5-6)4+2.6.7}{5+6} = \frac{80}{11} = 7\frac{3}{11},$$

beide nach der nämlichen Seite hin gerichtet. Ist dagegen $m = 3$, $m' = 5$, $v = 4$ und $v' = -7$, so wird aus der Gleichung 5.

$$V = \frac{(3-5)4-2.7.5}{3+5} = \frac{-8-70}{8} = -9\tfrac{1}{8},$$

$$V' = \frac{-(5-3)7+2.3.4}{3+5} = \frac{-14+24}{8} = 1\tfrac{1}{4}.$$

Ist das Verhältnifs der Massen $= 1 : r$ und eine derselben in Ruhe, so ist $m' = rm$, v sey $= a$ und $v' = 0$, und man erhält

$$\left.\begin{aligned} V &= \frac{(1-r)ma}{(1+r)m} = \frac{1-r}{1+r}a, \\ V' &= \frac{2ma}{(1+r)m} = \frac{2}{1+r}a. \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots (7$$

Ist hierbei der ruhende Körper völlig unbeweglich, so mufs er als unendlich grofs betrachtet werden, oder r ist unendlich. Dieses in die Formel substituirt giebt $V = -a$, das heifst der stofsende Körper wird mit seiner ganzen Geschwindigkeit sich rückwärts bewegen, wie oben §. 3. bereits aus dem Begriffe der Elasticität unmittelbar abgeleitet worden ist, V' aber wird $= 0$. Fällt eine elastische Kugel auf eine unbewegliche harte oder elastische horizontale Fläche, so erfolgen die bemerkten, oben untersuchten Erscheinungen; will man diese Gesetze aber mit der Stofsmaschine vermittelst elfenbeinerner Kugeln anschaulich machen, wobei man den in Folge unvollkommener Elasticität beim ersten Anstofsen eintretenden Verlust der Geschwindigkeit vernachlässigen kann, um nur zu zeigen, dafs $V = -a$ wird, so pflegt man die gestofsene Kugel mit der Hand festzuhalten. Ist diese dann beträchtlich kleiner als die stofsende, so gelingt der Versuch nicht, vielmehr wird meistens $V = 0$, d. h. die stofsende Kugel ruhet an der gestofsenen; ist sie aber gleich grofs oder gröfser, so springt sie mit verminderter Geschwindigkeit rückwärts.

Die Geschwindigkeit, welche ein ruhender Körper durch einen stofsenden erhält, steht also in einem bestimmten Verhältnisse zu der Masse und Geschwindigkeit des stofsenden. Dafs diese erlangte Geschwindigkeit bei gleichen Massen der des stofsenden gleich sey, ist bereits gezeigt worden, auch folgt nothwendig, dafs, wenn mehrere Kugeln einander berühren, jede gestofsene die erhaltene Geschwindigkeit der folgenden mittheilen mufs, wonach also bei einer willkürlich langen Reihe gleich grofser, sich einander berührender, vollkommen elastischer Kugeln, deren Mittelpuncte in einer geraden Linie liegen, die äufserste mit derjenigen Geschwindigkeit bewegt wird, womit die erste gegen die Reihe stöfst, während alle übrige ruhn.

6) Auf diesem Satze, welchen man durch Versuche mit 10 bis 12 auf die angegebene Weise aufgehängten elfenbeinernen Kugeln leicht anschaulich machen kann, beruht die Erklärung einer höchst merkwürdigen Erscheinung[1]. Bekannt-

1 Auf den Stofs vollkommen elastischer oder fast vollkommen elastischer Körper hat Parrot das Problem zurückgeführt. G. LXIII. 66.

lich pflegt man beim *Sprengen der Steine* in das Bohrloch die gehörige Quantität Schiefspulver zu schütten, in dieses die Zündröhre (einen jungen Schöfsling eines markigen Holzes, aus welchem das Mark vermittelst eines Eisendrahtes herausgestofsen und dessen innere Fläche vor dem Gebrauche durch Hin- und Herschieben eines Eisendrahtes mit etwas Pulvermehl eingerieben worden ist, oder einen inwendig mit Pulvermehl oder Pulverstaub oder selbst Schiefspulver angefüllten Strohhalm) herabzusenken, worin ein oben mit einem Ringe versehener Draht steckt, damit sie nicht zusammengedrückt werde. Dann ist es üblich, das Bohrloch mit Steinbrocken auszufüllen und diese vermittelst eines Stampfers und eines Hammers festzukeilen. Hernach wird der Draht (die Räumnadel), den man zuweilen auch ohne Röhre in das Schiefspulver herabsenkt, an seinem Ringe herausgezogen, der Canal mit Pulver ausgefüllt, ein Stück brennenden Schwammes aufgesteckt, und nachdem der Arbeiter sich gehörig entfernt hat, zerreifst das explodirende Schiefspulver den Stein. Hierbei ereignet sich häufiges Unglück, wenn der Schufs vor der Zeit durch das Einstampfen desselben oder beim gewaltsamen Herausreifsen der Räumnadel sich entzündet[1]. Der englische Ingenieur Will. Jessop erfuhr, dafs man weit sicherer und mit geringerem Aufwande von Schiefspulver zu sprengen vermöge, wenn man einen blofsen, mit Schiefspulver inwendig angefüllten Strohhalm in den Schufs herabsenke und den Raum um denselben mit trocknem losem Sande ausfülle[2]. Da ihm dieses unglaublich schien, so machte er eine Probe mit einem 20 Zoll dicken, knotigen Stücke Eichenholz, worin ein Loch 12 Z. tief, 1,5 Z. im Durchmesser gebohrt, in dieses 3 Z. hoch Pulver und darüber 4 Z. hoch Sand geschüttet war. Wider Erwarten zersprang der Klotz in 6 Stücke, und ein ähnlicher in einem folgenden Versuche durch 2 Z. hoch Pulver und 3 Zoll hoch Sand in zwei Stücke, wovon das eine 40 Yards

---

1 Man vermeidet die durch eiserne Räumnadeln entstehende Gefahr vermittelst der Anwendung kupferner. S. Köhler's Bergmänn. Kalender auf d. Jahr 1791. S. 192.

2 Nicholson Journ. T. IX. p. 232. G. XXII. 113. Andere Arten der Besetzung, z. B. mit trocknem und auch mit nassem Thon, den man einstampft, u. s. w. übergehe ich hier als weniger zur Sache gehörig.

weit fortgeschleudert wurde. Gilbert brachte hiermit eine andere Erfahrung in Verbindung, dafs nämlich Jagdflinten zerspringen, wenn ihre Mündung durch etwas Schnee oder lockere Erde, selbst der Sage nach sogar Spinnengewebe verstopft ist, oder wenn der Pfropfen sich vom Schiefspulver entfernt hat[1].

7) Die angegebene Methode des Sprengens scheint auf den ersten Blick unglaublich und wurde daher sofort durch Thom. Harrison[2] und durch Fogget mit ganz gleichem Erfolge wiederholt, Nicholson[3] aber sprengte auf diese Weise starke Flintenläufe, einen sogar in horizontaler Lage, indem der lockere Sand blofs durch einen leichten Pfropfen von Seidenpapier festgehalten wurde. Jederzeit wurde der Lauf an derjenigen Stelle, wo sich das Schiefspulver befand, zerrissen, selbst wenn es zwischen zwei Lagen von Sand, an jeder Seite eine, eingeschlossen war, der Sand aber fand sich nach der Explosion noch im Laufe und schien blofs an der Stelle der Berührung mit dem Schiefspulver etwas zusammengedrückt zu seyn. Bald folgten anderweitige zahlreiche Versuche, und alle im Ganzen mit dem nämlichen Resultate. Un-

---

1 G. LVIII. 200. Die hier angegebene Sage oder Meinung vom Zerplatzen der Schiefsgewehre durch die genannten Ursachen ist allgemein. Mir ist indefs auch glaubhaft erzählt worden, dafs jemand in der Absicht, sich zu erschiefsen, die Mündung eines Pistols fest gegen die Brust in der Gegend des Herzens drückte, allein der Schufs zersprengte den Lauf ohne den geringsten Nachtheil für die Person, indem die Kugel nicht bis ans Ende des Laufes vorgedrungen war. Flachin behauptet aber, man könne das Herausfahren einer Kugel aus dem Laufe verhindern, wenn man den Ladestock aufsetze und diesen mit dem Finger niederdrücke; der Lauf müsse aber stark seyn, weil er leicht zerspringe. Man sollte der Analogie nach glauben, dieses müsse allezeit der Fall seyn. Diese Erscheinungen beruhn auf ähnlichen Gesetzen, als das Sprengen mit losem Sande; bei jenen kommt jedoch die Expansion der Luft mit in Betrachtung. Ist nämlich die Mündung des Geschützes auch nur durch ein leichtes Hinderniſs verschlossen, so dient dieses der eingeschlossenen Luft zum Anhaltpuncte, die fortgestofsene Kugel verdichtet den mit ihr in Berührung befindlichen Antheil von Luft am stärksten und der Lauf zerspringt durch den hierdurch erzeugten Widerstand der Luft Vgl. *Feuerzeug* Bd. IV. S. 238.

2 Nicholson Journ. T. XI. p. 241.

3 Ebend. T. XII. p. 40. 60.

ter die wichtigsten gehören die durch Pictet mit Steinen und einem Holzklotze gemachten, wonach auch Kleie statt des Sandes genommen werden konnte[1], die von Baduel, welcher das letztere Resultat bestätigt und aufserdem Sägespähne und Asche brauchbar fand, die Ursache aber in dem Widerstande der Luft gegen die lockere Substanz zu finden glaubte und nur einzeln stehende Blöcke, aber nicht Theile grofser Felsmassen zu sprengen vermochte. Bei den Versuchen, die der Ingenieur Derrien auf den Wunsch von Decandolle und Biot bei den Felsen des Mont Cenis anstellen liefs, wo der Angabe nach die wenigsten Arbeiter zwei Campagnen überlebten, ohne verstümmelt oder getödtet zu werden, wurde nur die Hälfte der sonst gewöhnlichen Pulverladung genommen, und dennoch erhielt man meistens den ganzen Effect, nicht etwa bei einzelnen Blöcken, sondern bei den gröfsten anstehenden Felsmassen jeder Art. Nach W. Close[2] hatte man das Verfahren, vermittelst Sand zu sprengen, schon früher zu Furnefs gekannt und bewährt gefunden, aber wieder aufgegeben, vermuthlich weil den Arbeitern dort in den Schieferbrüchen der feine Quarzsand zum Sprengen fehlte.

Bei weitem die gröfste und gehaltvollste Reihe von Versuchen hat Gilbert[3] auf Veranlassung des berühmten Heron de Villefosse zuerst durch Unterstützung des Oberberghauptmanns Gerhard zu Rothenburg an der Saale angestellt, nachher aber in noch gröfserer Ausdehnung durch Vermittelung des geheimen Raths v. Meding theils in seiner Gegenwart, theils später in seiner Abwesenheit anstellen lassen, aus denen im Wesentlichen folgende Resultate hervorgingen. Eine Besetzung von feinem Vogeldunst, dessen Körner nicht über 0,25 Lin. Durchmesser hatten, 3 ℔. über 10 Lt. Pulver in einem 12 Z. tiefen und 1,25 Z. weiten Bohrloche, wurde zwar herausgeschleudert, so dafs einzelne Körner bis zu einer beträchtlichen Höhe gelangten, der Felsen bekam aber dennoch starke Risse, die der Wirkung bei der gewöhnlichen Besetzung gleich zu kommen schienen[4]. Trockne Sägespähne da-

---

1 Bibl. Brit. T. XXIX. p. 74. 271. G. XXII. 225.
2 G. LVI. 60.
3 G. LVI.
4 Gilbert meint, dieses Resultat stehe mit der nachfolgenden

gegen, Trümmer einer quarzigen zerkleinerten Gangart und ausgelaugte Asche wurden blofs herausgeblasen, Hammerschlag und kleingepochter Kalkspath gaben zwar einen starken Knall, aber keine wahrnehmbare Zerreifsung, feiner Flufssand und kleingepochter Schwerspath aber erzeugten eine Wirkung, welche die bei gewöhnlicher Besetzung erhaltenen bei weitem in den meisten Fällen noch übertraf. Die Wirkung schien noch verstärkt, als ein Pfropfen von Papier bis 1,5 Z. über das Schiefspulver herabgeschoben und dann die Besetzung von Schwerspathpulver aufgeschüttet wurde. Bei einigen der spätern Versuche, die der Obersteiger Hillegeist auf Befehl des geheimen Raths v. Meding anstellte, wurde das Gestein durch Schüsse mit Sandbesetzung nicht gehoben, wohl aber geschah dieses, als nachher dieselbe Ladung auf die gewöhnliche Weise besetzt war; allein Gilbert bemerkt mit Recht, dafs auch unter Voraussetzung eines richtigen Verfahrens dieses nichts gegen die neue Methode beweist, weil die ersten Schüsse ohne Zweifel nicht ohne alle Wirkung gewesen waren. Bei dieser Gelegenheit wurde auch bekannt, dafs man in einem sehr wasserlässigen Gesteine mit einer Besetzung von Wasser zu sprengen pflegte. Weil nämlich die Bohrlöcher voll Wasser liefen und nicht zu trocknen waren, wurde eine Patrone in einem verpichten Futterale von Holz, in welche die Zündröhre gesteckt und mit Letten beschmiert war, in das Bohrloch herabgesenkt, dann etwa eines Fingers dick Rasen darüber gedrückt, welcher wohl nicht immer mit der Patrone in Berührung kam; während des Brennens des Zünders lief das Loch voll Wasser und der Schufs that eine gute Wirkung. Am vortheilhaftesten bewies sich die zu Röras übliche Methode, wonach man einen mehrere Zoll langen hölzernen Pfropf, dessen mit einigen Kerben versehener Kopf einen gleichen Durchmesser als das Bohrloch hat, hineinschiebt, dann die Patrone auf diesen herabläfst und die gewöhnliche Lettenbesetzung anwendet. Dabei bleibt aber fraglich, ob nicht bei

---

Erklärung Dietrich's nicht im Widerspruche, allein mir scheint dieses allerdings der Fall zu seyn, weil die festgekeilten Schrotkörner eine so schnelle Bewegung nicht erhalten konnten; wohl aber scheint es mir mit Parchtl's Hypothese im Einklang zu stehn, wenn wir annehmen, dafs die wenig elastischen Bleikörner sämmtlich, die oberen aber nur mit geringer Geschwindigkeit fortgeschleudert wurden.

der Anwendung dieses Pfropfens die Sandbesetzung sich vorzüglicher zeigen würde, aufserdem aber ist auch anderweitig[1] bekannt, dafs ein Luftraum über dem Pulver die Wirkung verstärkt, weil der Schufs dann mehr gegen die Seitenwände wirkt, und so mufs das Nämliche auch bei einem Luftraume unter der Patrone der Fall seyn. Die Vorzüge der Sandbesetzung sind seitdem insbesondere auch durch Blavier auf Elba erwiesen, welcher die Methode insofern abänderte, dafs er über den feinen Sand einige Zoll hoch grobkörnigen, schweren, eisenschüssigen Sand schüttete. Anderweitige, sehr zu Gunsten der Sandbesetzung entscheidende Versuche haben Végobre[2] und Pelugfr[3] angestellt, der sonstigen, die nicht einmal sämmtlich öffentlich bekannt geworden sind, nicht zu gedenken, deren Resultate zwar nicht auf gleiche Weise, im Ganzen aber vortheilhaft ausfielen.

8) Die meisten, welche diese Versuche wiederholten, und auch andere Gelehrte bemühten sich, das seltsame Phänomen zu erklären. Nach Bertrand[4] soll das explodirende Schiefspulver dem Sande einen Inpuls geben, die Luft aber diesem entgegenwirken, dadurch der Pulverdampf in die Poren des Steines getrieben werden und diesen zerreifsen, wogegen aber Gilbert einwendet, dafs die Entbindung des Pulvergases keineswegs das Werk eines verschwindend kleinen Zeitelementes ist, so dafs also die momentan comprimirte Luft vermöge ihrer Elasticität den erforderlichen Widerstand zu leisten nicht wohl im Stande sey. Ein Ungenannter bringt in Erinnerung, dafs nach Belidor[5] und Marescot[6] die Wirkung einer gleichen Menge von Schiefspulver in den Minen weit stärker ist, wenn es die Kammer nicht ganz ausfüllt, und zugleich bezieht er sich auf das erwähnte Zerspringen der Schiefsgewehre, wonach Pictet argumentirt, dafs das entwickelte Pulvergas im ersten Momente seiner Entbindung die unmittelbar berührende Kugel in Bewegung setze, bei vorhandener Luft aber mehr

---

1 Journ. des Mines 1812. Janv. G. LVI. 317.
2 Bibliothèque Britannique. T. XLII. p. 381.
3 Bibl. univ. T. XXX. p. 231.
4 Bibl. Brit. T. XXIX. p. 184. G. XXIII. 236.
5 Science de l'Ingenieur.
6 Mémoire de l'officier du Génie. T. I. Mém. de l'Institut. T. III. p. 370.

Digitized by Google

Zeit zu seiner Entwickelung habe, daher in gröfserer Menge entbunden werde und dadurch die umgebenden Wände zerstöre. Gilbert bezweifelt jedoch mit Recht diese Hypothese und sucht die Ursache der paradoxen Erscheinungen in dem Umstande, dafs bei vorhandenen Lufträumen die allezeit nur allmälige Verbrennung des Schiefspulvers vollständiger statt finde und daher eine gröfsere Menge Pulvergas entwickelt werde, ehe seine Wirkung beginne. Hiergegen läfst sich jedoch einwenden, dafs das Pulvergas sich in den gröfsern Räumen stärker ausbreiten und daher einen gleichen Grad der Compression nicht erhalten könne. Einen Theil der stärkern Wirkung bei vorhandenen Lufträumen möchte ich daher vielmehr davon ableiten, dafs dem in Glühhitze versetzten Pulvergas durch die Wandungen der festen Körper augenblicklich ein Theil der Wärme entzogen und dadurch seine Wirkung geschwächt wird, statt dafs die gleichzeitig comprimirte Luft vielmehr Wärme entbindet, wobei die bekannte Erfahrung[1] berücksichtigt werden mufs, dafs erwärmte Geschütze weiter tragen als kalte. Prechtl[2] dagegen fafste das Problem von der richtigen Seite auf, zeigte die Nichtigkeit des Einflusses des Luftdruckes und führte das Phänomen auf das Gesetz des Stofses halbelastischer Körper zurück. Nimmt man die Sandkörner als gleich grofs an, was bei einem solchen Gemenge unbedenklich geschehn kann, und rechnet man aus der Höhe der Schicht, dafs 60 Körner über einander liegen und dafs endlich die untere Schicht mit einer Geschwindigkeit von 2000 Fufs in einer Secunde gestofsen werde, so würde die letzte Schicht mit einer Geschwindigkeit von $\frac{1}{10000}$ Fufs in einer Secunde wegfliegen, was als Ruhe gelten kann, die Bewegung der einzelnen Schichten wächst aber nach unten in einer geometrischen Progression, und die untersten Schichten müssen daher stark zusammengedrückt seyn, die obere aber locker bleiben, was Nicholson's Versuche bestätigen. Die Zusammendrückung der unteren Schichten und die gröfsere ihnen ertheilte Geschwindigkeit rührt hauptsächlich davon her, dafs die Entzündung des Schiefspulvers nicht momentan ist, und daher taugen Flüssigkeiten nicht zur Sperrung des Schiefspul-

1 Vergl. *Ballistik*. Bd. I. S. 705.
2 G. XXIII. 249.

Digitized by Google

vers, weil sie nicht elastisch genug sind und die ertheilte Bewegung zu leicht durch ihre gesammte Masse fortpflanzen. Ebendaher werden auch zwei über einander in ein Gewehr geladene Kugeln ungleich tief eindringen und mehrere übereinander geladene werden den Lauf zerspringen machen, nicht durch ihr Gewicht, sondern aus der oben angegebenen Ursache.

9) Diese Erklärung wird von C. A. Dietrich[1] nicht gerade angegriffen, aber doch durch Aufstellung einer neuen indirect für ungenügend erklärt. Nach dieser besteht der aufgestreuete Sand aus Kügelchen von ungleicher Gröfse, die durch den Druck des Pulvergases nach verschiedenen Richtungen hin getrieben und dadurch in einander festgekeilt werden; indem aber der Druck gegen ihn, wie ein convexes Gewölbe gerichtet ist, kann er nicht weichen, ohne zerdrückt zu werden, wozu nach Versuchen mit einzelnen Körnchen eine weit gröfsere Kraft erforderlich ist, als welche das Pulvergas ausübt, so dafs vielmehr der einschliefsende Felsen zerrissen wird. Prechtl[2] setzt jedoch dieser Hypothese verschiedene, nicht blofs gewichtige, sondern wahrhaft unüberwindliche Argumente entgegen, unter denen folgende die bedeutendsten sind. Zuerst müfste das Pulvergas den verdichteten Sand weit leichter, als den dichtern Felsen, dessen Theile sich gleichfalls einkeilen, fortstofsen. Die Erfahrung ergiebt ferner, dafs die zunächst dem Pulver befindlichen Sandkörner wirklich zerdrückt werden, wie auch durch die gegen sie ausgeübte Gewalt, die weit gröfser ist als diejenige, wodurch Dietrich sie in seinen Versuchen wirklich zerdrückte, nothwendig erfolgen mufs. Das Einzwängen oder Einkeilen der Sandkörner ist aufserdem ohne einen bedeutenden Widerstand der obern Lagen nicht möglich und dieser kann durch die blofse Trägheit derselben nicht gegeben werden. Endlich aber ist die Anwesenheit des nachgebenden Strohhalms in der Mitte des lockern Sandes gar nicht berücksichtigt. Prechtl's Erklärung scheint seitdem von den Physikern im Ganzen angenommen worden zu seyn, wenn gleich einige noch andere modificirende Bedingungen als mitwirkend betrachten, z. B. Blesson[3] die

1 G. LX. 42.
2 G. LVI. 325.
3 G. LXIV. 102.

Digitized by Google

Zerlegung der stofsenden Kraft in die componirenden bei den einzelnen nicht in einer Linie auf einander liegenden Sandkörnern, wodurch die mit der Axe des Bohrloches parallel wirkenden Kräfte bei den einzelnen Sandkörnern zuletzt gänzlich oder fast ganz verschwinden sollen.

Endlich hat auch MERIAN[1] dieses Problem zu erklären versucht, weil ihm die frühern Erklärungen ungenügend erschienen. Nach seiner Ansicht liegt die Ursache in den Gesetzen der Trägheit und soll die nämliche seyn, wonach ein an zwei Haaren horizontal gehaltener Pfeifenstiel durch einen kräftigen Schlag zerbricht, ohne die Haare zu zerreifsen. Es soll nämlich eine längere Zeit erfordert werden, um den Impuls des Pulvergases den losen Theilen des Sandes, als der zusammenhängenden Felsenmasse mitzutheilen, und da also eine nicht unmerkliche Zeit verflieſst, bis der Stofs sich von den dem Pulver zunächst liegenden Theilen bis zu den entferntesten fortpflanzt, so wird unterdefs mehr Schiefspulver entzündet und die Kraft des entwickelten Gases wächst bis zum Zersprengen des Felsens.

Bis soweit ist diese, auch von andern angedeutete Erklärung durchaus ungenügend, weil sie die nothwendige Frage unbeantwortet läfst, warum das sehr elastische Pulvergas nach erlangter voller Spannung die lockerere und ohnehin schon bewegte Besetzung nicht leichter fortzustofsen vermöge, als den ungleich härtern Fels zu zerreifsen? Was aber MERIAN weiterhin zur Erläuterung seines Satzes hinzufügt, ist ganz im Sinne der durch PRECHTL gegebnen Erklärung und beweist deren Richtigkeit, die auch, sobald man die Sache genau auffafst, keinem Zweifel unterliegt, indem sie allezeit genügt, man mag die Besetzung aus einzelnen harten, vollkommen oder unvollkommen elastischen Theilen bestehend annehmen. Die Leichtigkeit, womit eine Kugel durch das explodirende Schiefspulver ohne einen bedeutenden Stofs des Geschützes fortgeschleudert wird, beruht darauf, dafs die aus einer gemeinsamen Masse[2] bestehende Kugel durch den Stofs des Pul-

---

1 G. LVII. 419.

2 PRECHTL zeigt sehr richtig, dafs dieses streng genommen nicht ganz der Fall sey, im Allgemeinen aber bei nicht allzugrofsen Kugeln unbedenklich angenommen werden könne.

vergases, so wie es sich in einer verschwindend kurzen, aber immer endlichen Zeit entwickelt, anfangs langsamer mit Ueberwindung ihrer Trägheit in Bewegung gesetzt und nachher die schon erzeugte Bewegung allmälig verstärkt wird, bis das Maximum und dann der Beharrungszustand eintritt. Die Besetzung beim Sprengen, deren untere Lage wir einstweilen mit dem Schiefspulver in unmittelbarer Berührung befindlich annehmen wollen, besteht aber aus einer Menge über einander liegender Kugeln oder der Kugelgestalt nahe kommender Körper und der eine oder die wiederholten wachsenden Stöfse, die wir bei der Kürze der zur vollständigen Entzündung erforderlichen Zeit und der gleichfalls kleinen, aber endlichen Zeit, worin die beim Stofse entstehende Zusammendrückung vollendet wird, als einen einzigen, mit dem Maximum seiner Kraft vollendeten Stofs betrachten können, werden stets nur der untern Lage mitgetheilt. Beständen dann die sämmtlichen Lagen aus vollkommen elastischen Kugeln, so könnte bei jeder möglichen Stärke des Stofses stets nur die obere Schicht fortfliegen, alle andern würden aber ruhn und der Felsen müfste zersprengt werden; wären aber die Kugeln hart oder unvollkommen elastisch, so würde die erzeugte Geschwindigkeit der ersten gestofsenen Schicht der folgenden und so jeder nächsten bis zur letzten mitgetheilt werden, jederzeit mit einer Verminderung der Geschwindigkeit, die mit der Zahl der Schichten in einer geometrischen Progression wächst und daher bei einer grofsen Menge derselben in einem solchen Grade zunimmt, dafs die der letzten eine verschwindende Gröfse wird, wie Prechtl in Zahlenwerthen gezeigt hat und auch aus den Betrachtungen im nächstfolgenden §. folgt. In der festen Felsenmasse dagegen ist die Bewegung weit schneller (wie sich auf gleiche Weise bei der Fortpflanzung des Schalles zeigt), und es bedarf nur einer Bewegung durch einen geringen Raum, um die innig zusammenhängende Masse zu zerreifsen[1]. Der Einfluls der Lufträume kommt aufser dem bereits hierüber Beigebrachten auf das Nämliche zurück, wenn man dieselben aus

---

1 Zur Aufklärung dieser Erscheinung dienen auch die Resultate der Versuche von Huber Burnand in Ann. Chim. Phys. T. XLI. p. 166, wonach sich der Druck nur durch tropfbare Flüssigkeiten, aber nicht durch halbflüssige, als Sand u. s. w., fortpflanzt.

Digitized by Google

einzelnen Schichten zusammengesetzt annimmt und dabei berücksichtigt, dafs die durch das explodirende Schiefspulver erzeugte Anfangsgeschwindigkeit (von wenigstens 2000 Fufs) gröfser ist, als die Geschwindigkeit, womit die atmosphärische Luft unter einfachem Drucke in den leeren Raum eindringt[1] (1215 Fufs), wonach also nothwendig eine vom Maximum an allmälig abnehmende Compression erzeugt werden mufs.

10) Knüpfen wir nach dieser Digression den Faden der theoretischen Untersuchung über das Verhalten vollkommen elastischer Körper beim Stofse wieder an und denken wir uns eine Reihe sich berührender Kugeln, so folgt aus der Formel No. 7, dafs bei gleich grofsen Kugeln die stofsende nach dem Stofse ruhen, die letzte aber mit der Geschwindigkeit der stofsenden abfliegen wird. Haben aber die aneinander liegenden Kugeln das Verhältnifs $1:r$, so erhalten die nächstfolgenden der Reihe nach die Geschwindigkeiten:

$$\frac{2}{r+1}a;\ \frac{2^2}{(r+1)^2}a;\ \frac{2^3}{(r+1)^3}a;\ \frac{2^4}{(r+1)^4}a;\ \cdots\ \frac{2^n}{(r+1)^n}a.$$

Wenn also die Zahl aller Kugeln $= n$ ist, so wird die Geschwindigkeit der letzten bei gleichen Kugeln, wenn $r = 1$ ist,

$$\frac{2^{n-1}}{(r+1)^{n-1}}a = a,$$

bei ungleichen aber $= \frac{2^{n-1}}{(r+1)^{n-1}}a$

seyn, eine Gröfse, die bei einem grofsen Unterschiede der Massen auch bei einer mäfsigen Anzahl von Kugeln ins Unglaubliche wächst. Hätte man nämlich 100 Kugeln ($n = 100$) und wäre jede folgende nur von der halben oder von der doppelten Masse ($r:1 = 0{,}5:1$ oder $= 2:1$), so würde im ersten Falle die erste gestofsene mit $\frac{4}{3}$ und im zweiten mit $\frac{2}{3}$ der Geschwindigkeit der stofsenden, die letzte aber mit der mehr als zwei Billionfachen und der drei Trilliontel Geschwindigkeit der stofsenden abfliegen. Die Herstellung eines solchen Verhältnisses in der Wirklichkeit ist unmöglich, inzwischen hatte man ehemals Apparate, bei denen dasselbe durch 12 Kugeln von Elfenbein oder hartem Holze dargestellt war, und

---

1 Vergl. *Pneumatik*. Bd. VII. S. 595.

also die Geschwindigkeit der letzten im ersten Falle beim Stofse der grofsen gegen die kleinern 23,67..., im zweiten aber beim Stofse der kleinen gegen die gröfsern 0,01156 mal die Geschwindigkeit der stofsenden der Theorie nach betragen mufste [1]. Hierauf beruht das eben erörterte Problem des Sprengens.

11) Es möge hier noch eine Erscheinung erörtert werden, über deren Erklärung ich mich nicht erinnere irgendwo eine befriedigende Auskunft gefunden zu haben. Wenn eine beliebig lange Reihe elfenbeinerner Kugeln an Fäden so aufgehangen ist, dafs ihre Mittelpuncte in einer geraden Linie liegen, ihre Oberflächen sich aber unmittelbar berühren, und wenn dann zwei oder mehrere derselben, die gleichfalls in unmittelbarer Berührung mit einander bleiben, gegen sie stofsen, so fliegt am andern Ende der Reihe genau eine gleiche Anzahl von Kugeln ab, als die der stofsenden Kugeln beträgt, und wenn die Zahl der ruhenden geringer ist, als die der stofsenden, so kommen von den letzteren so viel zu den abfliegenden hinzu, dafs allezeit die Zahl der abgestofsenen Kugeln der der stofsenden gleich wird. Der Theorie nach müfsten die in Berührung befindlichen stofsenden Kugeln, die in diesem Falle unbedenklich für vollkommen elastisch, ebenso wie die gestofsenen ruhenden, gelten können, als eine gemeinschaftliche Masse betrachtet werden, und es müfste also nach dem Stofse die äufserste mit einer den gegebenen Gröfsen proportionalen Geschwindigkeit, also bei gleichen Kugeln und zwei stofsenden mit $\frac{4}{5}$ der Geschwindigkeit abgestofsen werden. Dieses erfolgt aber nicht, indem vielmehr ebenso viele mit einander in Berührung bleibende Kugeln abgestofsen werden, als gleichfalls sich berührende gleichzeitig stofsen. Um die Richtigkeit dieser Ansicht, dafs die Stöfse successiv von allen Kugeln, und zwar von der vorausgehenden zuerst, erfolgen, ohne dafs eine mefsbare Zeit und somit auch kein mefsbarer Abstand weder zwischen den stofsenden noch den gestofsenen Kugeln vorhanden ist, beide also anscheinend sich in unmittelbarer Berührung befinden, zu prüfen und übersichtlicher zu machen, dienen als Beispiel 10 Kugeln, von denen 6 stofsen, 4 gestofsen

1 Vergl. Joh. Bernoulli Opp. om. Laus. et Genev. 1742. 4. T. III. p. 7 ff.

Digitized by Google

werden und 6 abfliegen, so dafs also zwei zugleich als stofsende und gestofsene auftreten, wobei nothwendig ist, dafs sie zuerst den Stofs vollbracht haben müssen, ehe sie von den nachfolgenden selbst wieder gestofsen werden. Die Zeichnung stellt die Lage nach dem Stofse dar und es sind die Kugeln 1, 2, 3, 4, 5, 6 die stofsenden, 1′, 2′, 3′, 4′, 5′, 6′ aber die gestofsenen, wonach also die Kugeln 1, 2 oder 5′, 6′ stofsende und gestofsene zugleich sind. Fig. 380.

12) Um die Gesetze des Stofses unvollkommen elastischer Körper zu übersehen, mufs man berücksichtigen, dafs nach den oben bewiesenen Gesetzen zwei sich stofsende, vollkommen harte Körper ruhen werden, wenn die Producte ihrer Massen in ihre Geschwindigkeiten einander gleich sind oder wenn $mv = m'v'$ ist, zwei vollkommen elastische Körper aber unter diesen Bedingungen mit verwechselten Geschwindigkeiten auseinander fliegen müssen. Sind die Körper aber nur unvollkommen elastisch und ist $1 : w$ der Ausdruck für das Verhältnifs der vollkommenen Elasticität zu ihrer unvollkommenen, so können sie nur mit den Geschwindigkeiten wv und wv' auseinander getrieben werden. Es ist ferner oben angenommen worden, dafs von den beiden Geschwindigkeiten jede aus zwei andern, in Beziehung auf die hypothetisch angenommene Bewegung ihrer Bahn, zusammengesetzt sey, und zwar v aus u und $v - u$, v' dagegen aus u und $v' - u$ oder $-(u - v')$, dafs der Werth von u aber dadurch bestimmt werde, dafs $m(v - u) = m'(u - v')$ werde. Bei unvollkommen elastischen Körpern, deren Elasticität zur absoluten durch das oben angegebene Verhältnifs ausgedrückt ist, erhalten wir dann die Werthe $w(v - u)$ und $w(u - v')$. Hieraus folgen für die Geschwindigkeiten V und V' der Körper A und A′, womit sie nach dem Stofse auseinanderfliegen,

$$V = u - w(v - u) = (1 + w)u - wv,$$
$$V' = u + w(u - v') = (1 + w)u - wv';$$

und da $u = \frac{mv + m'v'}{m + m'}$ genommen ist,

$$V = (1 + w)\,\frac{mv + m'v'}{m + m'} - wv,$$
$$V' = (1 + w)\,\frac{mv + m'v'}{m + m'} - wv',$$

Digitized by Google

welches reducirt giebt

$$\left.\begin{aligned} V &= \frac{(m - m'w)v + (1+w)\,m'v'}{m+m'} \\ V' &= \frac{(m' - mw)v' + (1+w)\,mv}{m+m'} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (8$$

und für $w = 1$ mit der obigen Formel No. 4 identisch ist. Setzen wir im Beispiele die numerischen Werthe von $w = \frac{1}{4}$; $m = 4$; $m' = 5$; $v = 6$; $v' = -7$, so wird

$$V = \frac{(4 - \frac{1}{4})\,6 + (1 + \frac{1}{4})\,5 \times -7}{4+5} = -6\tfrac{3}{10},$$

$$V' = \frac{-(5-3)7 + (1+\frac{1}{4}).\,4 \times 6}{4+5} = 3\tfrac{1}{3}.$$

II. Schiefer Stofs.

13) Die Gesetze des schiefen Stofses lassen sich einfach aus denen des geraden ableiten. Es seyen demnach A und A′ zwei Körper, welche in R sich stofsend zusammentreffen, indem sie sich in der Richtung BA und DA′ bewegen, LM sey die Berührungsebene oder diejenige Ebene, in welcher der Berührungspunct beider liegt, ihre Massen und Geschwindigkeiten mögen, wie oben, m und m′, v und v′ heifsen, der Winkel $BAE = \alpha$, der Winkel $DA'E' = \beta$, so läfst sich die Geschwindigkeit v in die beiden Geschwindigkeiten $v\,\mathrm{Sin.}\,\alpha$ und $v\,\mathrm{Cos.}\,\alpha$, die Geschwindigkeit v′ aber in $v'\,\mathrm{Sin.}\,\beta$ und $v'\,\mathrm{Cos.}\,\beta$ zerlegen. Die der Berührungs-Ebene LM parallelen $v\,\mathrm{Cos.}\,\alpha$ und $v'\,\mathrm{Cos.}\,\beta$ bleiben nach dem Stofse unverändert und es kommen also nur die Geschwindigkeiten $v\,\mathrm{Sin.}\,\alpha$ und $v'\,\mathrm{Sin.}\,\beta$ nach dem Stofse in Betrachtung. Werden diese Gröfsen in die Formel No. 4 für absolut elastische Körper oder in die No. 8 für halbelastische substituirt, so lassen sich hieraus die Geschwindigkeiten in den Richtungen AP und A′P′ finden, welche mit den unveränderlichen Werthen $\mathrm{Cos.}\,\alpha$ und $\mathrm{Cos.}\,\beta$ verbunden die gesuchten Geschwindigkeiten geben. Es wird genügen, die Untersuchung auf die Formel No. 8 zu beschränken, die den Coefficienten der Elasticität enthält, welcher nebst den andern Bezeichnungen beibehalten die Werthe

Fig. 381.

$$\left.\begin{aligned} V &= \frac{(m - m'w)\,v.\,\mathrm{Sin.}\,\alpha + (1+w)\,m'.\,v'.\,\mathrm{Sin.}\,\beta.}{m+m'} \\ V' &= \frac{(m' - mw)\,v'.\,\mathrm{Sin.}\,\beta + (1+w)\,m.\,v.\,\mathrm{Sin.}\,\alpha}{m+m'} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (9$$

Digitized by Google

giebt. Wird jetzt auch der andere Theil der Geschwindigkeit, welcher von Cos. α und Cos. β abhängt, eingeführt, und berücksichtigt, dafs die erzeugte Geschwindigkeit die Hypotenuse der beiden componirenden ist, so wird für die Geschwindigkeiten U und U′ nach dem Stofse

$$\left.\begin{aligned} U &= \gamma\sqrt{(V^2 + v^2\,\mathrm{Cos.}^2\,\alpha)} \\ U' &= \gamma\sqrt{(V'^2 + v'^2\,\mathrm{Cos.}^2\,\beta)} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (10.$$

Es folgt ferner aus dem oben mitgetheilten Satze, wonach ein gegen eine harte oder elastische unbewegliche Ebene stofsender elastischer Körper vermöge seiner Elasticität mit seiner ganzen Geschwindigkeit rückwärts fliegt, dafs bei einem schief gegen eine unbewegliche Ebene dieser Art stofsenden vollkommen elastischen Körper die beiden componirenden Geschwindigkeiten unverändert bleiben, worauf der wichtige Satz beruht, dafs bei einem solchen Stofse der Ausfallswinkel dem Einfallswinkel gleich seyn müsse. Man soll diesemnach das Centrum einer am jenseitigen Ufer eines ruhigen Wassers stehenden Scheibe treffen, wenn man gegen das Bild dieses Mittelpunctes im Wasser zielt, es ist jedoch schwer zu entscheiden, ob hierzu die beiden im Stofse sich treffenden Körper hinlängliche Elasticität besitzen und die Kugel nicht in das Wasser eindringt, was auf jeden Fall nur bei einem kleinen Winkel mit dem Wasserspiegel ausbleiben könnte. Bei unvollkommen elastischen Körpern ist aufserdem der Ausfallswinkel etwas kleiner als der Einfallswinkel, wie aus der Formel No. 10 folgt, worin derjenige Theil, worin sich der Sinus des Einfallswinkels befindet, durch Einführung des Factors w kleiner wird, derjenige aber, dem der Cosinus desselben als Factor zugehört, unverändert bleibt. Hiermit hängt auch eine Spielerei zusammen, nämlich das *Ricochettiren* kleiner flacher Steine, die man unter einem sehr spitzen Winkel gegen eine ebene Wasserfläche wirft, und das Ricochettiren der Geschützkugeln, sowohl auf dem Lande als auch auf der See oder einer hinlänglich grofsen Wasserfläche, wobei der Ausfallswinkel zunehmend kleiner wird. Bei allen diesen Anwendungen in der Wirklichkeit ist jedoch der Widerstand zu berücksichtigen, den die Luft erzeugt, und die Reibung an den getroffenen Flächen.

Ueber die Gesetze des Stofses lassen sich noch weitere Untersuchungen anstellen, wenn man diese auf die Erscheinun-

gen, die beim Zusammentreffen von willkürlich gestalteten und beliebig vielen Körpern vorkommen, desgleichen auf die in dem einen oder dem andern derselben entstehende Rotationsbewegung ausdehnt; indefs scheint mir dieses hier weniger nothwendig, ich verweise deswegen auf die Lehrbücher der höheren Mechanik, namentlich auf Poisson's oben genanntes Werk[1], und beschränke mich auf einige mehr praktische Betrachtungen.

14) Die oben vorgetragenen Gesetze pflegt man durch die sogenannte *Percussions-Maschine* oder Stofsmaschine anschaulich zu machen, die zuerst durch Mariotte[2] dem Wesen nach angegeben, durch Nollet[3] aber in zweckmäfsiger Gestalt ausgeführt wurde. Sie beruhet auf dem Gesetze, dafs die Geschwindigkeiten durch die Fallhöhen bestimmbar sind. Es werden also die Kugeln P und Q an Fäden, die in C und D befestigt sind, so aufgehangen, dafs sie sich genau berühren. Wird dann die Kugel P bis A aufgehoben, so erreicht sie nach den Gesetzen des Falles auf vorgeschriebenem Wege eine Geschwindigkeit, die der lothrechten Fallhöhe GP zugehört, und ebenso Q bis A aufgehoben eine solche, die gQ zugehört. Stofsen sie also zusammen, so verhalten sich ihre Geschwindigkeiten $v : v' = \sqrt{GP} : \sqrt{gQ}$. Sind die Bogen sehr klein, so verhalten sich die Quadratwurzeln aus den Quersinus wie die Bogen selbst, und die letzteren können daher als das Mafs der Geschwindigkeiten dienen. Man erhält also durch die Anwendung kleiner Fallhöhen mindestens genäherte Resultate, da sowohl der Widerstand der Luft für so geringe Geschwindigkeiten, als auch die Steifheit der dünnen, sehr biegsamen Fäden füglich vernachlässigt werden können. Nollet's Maschine ist so eingerichtet, dafs sich die Versuche über den centralen Stofs harter und elastischer Körper mit Bequemlichkeit anstellen lassen. Die zur Unterstützung dienenden drei Füfse sind mit Stellschrauben versehen, um den verticalen Stand zu erhalten, den man vermittelst eines hinten angebrachten Senkels prüft. Aus dem oberen Ende der Leiste ragt ein

Fig. 382.

Fig. 383.

---

1 Vergl. Ferussac Bull. des Sc. math. 1827. No. 1. p. 4 u. No. 2. p. 85.

2 Oeuvres de Mariotte. à la Haye 1740. T. I. p. 1.

3 Leçons de Phys. expér. T. 1. p. 360.

senkrecht in dieselbe eingelassener, also horizontal stehender, Arm DE hervor, auf welchem die beiden horizontalen eisernen Stäbe C und C' verschiebbar sind, in gehöriger Lage aber vermittelst der Stellschrauben festgestellt werden und dazu dienen, um jede Kugel zur Erzeugung einer Bewegung in der nämlichen verticalen Ebene an zwei Fäden aufzuhängen. Die eisernen Stäbe sind in der Mitte der Länge nach geschlitzt und in den Schlitzen sind Haken verschiebbar, um den tragenden Faden an dem vorderen zu befestigen, von hieraus durch ein Oehr in der Kugel zu ziehen, wieder aufwärts über den hinteren zurückzuführen und sein Ende um den Wirbel α oder β so zu wickeln, dafs die Kugel dadurch die gehörige Höhe erlange. An drei unten hervorragenden, einige Zoll langen Leisten ist endlich eine Querleiste befestigt, auf welcher die beiden verschiebbaren Mafsstäbe G und H sich so stellen lassen, dafs die gemeinschaftliche verticale Ebene durch beide Fäden bei willkürlicher Dicke der Kugeln stets mit dem Nullpuncte der Theilung zusammenfällt. Die Theile der Scale, bis wohin man vor dem Stofse die Fäden der Kugeln entfernt, und diejenigen, wohin sie nach dem Stofse gelangen, geben alsdann das Mafs der Geschwindigkeiten vor und nach dem Stofse. Zu den Versuchen mit harten Körpern nimmt man wohl mit Sand gefüllte Säckchen oder Kugeln von blofs hart getrocknetem Thon, am besten aber Bleikugeln, jedoch fallen die Versuche mit diesen wegen ihrer nicht unbedeutenden Elasticität allezeit nur unvollkommen aus; weit besser gelingen die für elastische Körper mit elfenbeinernen Kugeln von gleicher und verschiedener Gröfse.

Zur Erläuterung der Gesetze des schiefen Stofses hat Nollet[1] gleichfalls eine Maschine angegeben, vermittelst deren sich das Gesetz, dafs der Ausfallswinkel dem Einfallswinkel gleich sey und dafs unvollkommen elastische Körper zu einer geringeren Höhe wieder aufsteigen, als wovon sie herabgefallen sind, anschaulich machen läfst. Auf einem kleinen Tischchen, das man vermittelst seiner drei Stellschrauben horizontal stellt, liegt eine ganz ebene Marmorplatte AB, auf welcher eine kleine elfenbeinerne Kugel an jedem Orte ruhen mufs, wenn sie sich in horizontaler Lage befindet. Die Platte wird Fig. 384.

1 A. a. O. Bd. I. S. 314.

vermittelst einer unter ihr befindlichen Stütze, die man mehr oder weniger schräg richtet, so gestellt, dafs sie mit dem Horizonte verschiedene Winkel bildet. An der einen Seite des Tisches ist eine verticale Leiste befestigt, von deren oberem Ende eine kürzere horizontale Leiste so weit hervorragt, dafs ihr äufseres Ende sich über der Mitte der Marmorplatte befindet. Hier ist die runde Oeffnung C, durch welche man kleine elfenbeinerne Kugeln mit Vorsicht so fallen läfst, dafs ihr Centrum nahe genau durch den Mittelpunct der Oeffnung fällt, wenigstens dafs die Oberfläche nirgends an den Rand der Oeffnung anstöfst. Befindet sich die Marmorplatte in einer horizontalen Lage, so springt die Kugel zu stets geringeren Höhen, bis sie zuletzt zur Ruhe kommt, und es läfst sich hierdurch das §. 3 aufgestellte Gesetz prüfen; giebt man ihr aber eine schräge Lage, z. B. die durch die Linie AD angedeutete, so springt die Kugel unter dem Winkel AEF = CED in die Oeffnung des kleinen Kästchens, welches auf der verticalen Leiste verschiebbar nach der Verschiedenheit des Elevationswinkels der Marmorplatte höher oder niedriger gestellt werden kann.

15) Trifft der stofsende Körper den gestofsenen so, dafs die Richtung der durch den Stofs erzeugten Bewegung irgendwo ein Hindernifs findet, so wird aufser der fortschreitenden Bewegung des Körpers noch eine drehende erzeugt. Die Untersuchung dieser unter den verschiedenen Bedingungen erzeugten Drehung unterliegt grofsen Schwierigkeiten. Dabei kommt zugleich der *Mittelpunct des Stofses* (*Centrum percussionis*, *Centre de percussion*) in Betrachtung, oder diejenige Stelle des bewegten Körpers, wo man sich seinen ganzen Stofs vereinigt vorstellen kann, so dafs dasjenige, was diesen Stofs empfindet, die fernere Bewegung gänzlich hindert, wenn es nicht ausweichen kann. Bei Körpern, deren Puncte sich alle mit gleicher Geschwindigkeit in parallelen Richtungen bewegen, fällt dieser Mittelpunct des Stofses mit dem Schwerpuncte des Körpers zusammen. Wallis[1] hat hierüber zuerst Untersuchungen angestellt, nachher Stone[2], Jacob Bernoulli[3] und Joh. Ber-

1 Mechan. Cap. XI. prop. 15.

2 Analyse des infiniment petits. Trad. par Rondet. Par. 1735. 4. Sect. VII. p. 181.

3 Opp. T. II. p. 951.

NOULLI[1], am ausführlichsten unter den älteren aber KARSTEN[2]; in den neuern Werken über die Mechanik findet man den Gegenstand gleichfalls erörtert. Das Phänomen der Rotation gestofsener Körper, namentlich der Eismassen in den Polarmeeren, der Geschützkugeln, durch den nicht überall gleichen Stofs des explodirenden Schiefspulvers oder irgend ein Hindernifs in der Röhre des Geschützes, selbst durch die excentrische Lage des Schwerpunctes erzeugt[3], und anderer Körper, kommt in der Erfahrung häufig vor, und der Stofs, welcher durch diese Bewegung entsteht, ist nach der Masse und Geschwindigkeit sehr verschieden, von der fortschreitenden Bewegung ebendieser Körper aber gar nicht oder nur zum Theil abhängig. So findet man, dafs Geschützkugeln zuweilen mit bedeutender Geschwindigkeit um eine verticale Axe rotiren, in horizontaler Richtung aber sich langsam bewegen oder gänzlich ruhen, jedoch gegen einen sie berührenden Körper mit bedeutender Kraft stofsen und diesen daher stark verletzen oder, wenn er unüberwindlichen Widerstand leistet, selbst mit grofser Geschwindigkeit nach einer hierdurch bedingten Richtung fortbewegt werden. Wissenschaftliche Untersuchungen hierüber haben JOHANN und DANIEL BERNOULLI, insbesondere aber L. EULER[4] angestellt; versinnlichen läfst sich die Sache dem Wesen nach leicht. Wenn man eine Billardkugel C auf eine mit Tuch überzogene horizontale Ebene AB legt und mit einem Finger in der Richtung $\beta\alpha$ schlägt, so wird sie hierdurch in der Richtung $\alpha\gamma$ fortgestofsen werden, allein die eine der Componirenden dieser Linie, nämlich $C\delta$, findet in der festen Ebene ein unüberwindliches Hindernifs, und die Kugel wird sich also nur im Verhältnifs der andern Componirenden $C\varepsilon$ nach A hin bewegen. Zugleich erhält dieselbe eine Umdrehung um eine horizontale Axe in der Richtung $\delta\varepsilon\alpha$, und wenn diese stärker ist, ihr Fortgleiten aber durch die rauhe Oberfläche gehindert bald aufhört, so wird sie nur anfangs etwas

Fig. 385.

---

1 Opp. T. IV. n. 170. p. 180.

2 Lehrbegriff der ges. Math. Th. IV. Mech. Abschn. XVIII.

3 Vergl. *Ballistik* Bd. I. S. 722.

4 Comm. Petrop. T. IX. N. XIII. Theoria motus corporum solidorum seu rigidorum. Rost. et Gryphisw. 1765. Vergl. KARSTEN a. a. O.

nach A fortgestofsen werden, nachher aber nach B hin fortrollen[1].

16) Ein wichtiger Theil der Untersuchungen bezieht sich auf die *Kraft des Stofses*. Die ältern Streitigkeiten der Gelehrten über die Bestimmung dieser Gröfse sind oben[2] bereits mitgetheilt worden, und es genügt also, hier nur zu bemerken, dafs dieser Effect $K = MV^2$ ist, wenn M die Masse und V diejenige Geschwindigkeit bezeichnet, womit der stofsende Körper aufschlägt. Indem hiernach also die durch eine bewegte Masse von gegebener Gröfse erzeugte Wirkung dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional wächst, so erklärt sich hieraus die unglaubliche Kraft, die durch verhältnifsmäfsig kleine Massen erzeugt wird, wenn sie mit grofser Geschwindigkeit bewegt aufschlagen, diesen Effect mit demjenigen verglichen, welcher durch anderweitige mechanische Mittel, namentlich durch den Druck, hervorgebracht wird. Soll z. B. nur ein Nagel in ein Bret eingeschlagen werden, so ist dieser als ein Keil zu betrachten, und da hierbei nicht blofs der Druck gegen seine Seiten, sondern auch die noch gröfsere Reibung überwunden werden mufs[3], so ergiebt eine leichte Berechnung, dafs in vielen Fällen ein Druck von mehrern Hundert Pfunden erforderlich seyn würde, um einen solchen Nagel einzutreiben, den man mit einem Hammer von etwa einem halben Pfunde an Gewicht bequem einzuschlagen vermag. Bei einigen Schriftstellern findet sich ein leicht zu beseitigendes Mifsverständnifs, welches aus einer Verwechselung des Stofses mit dem Drucke entspringt. Aus der Formel $K = MV^2$ folgt nämlich, dafs K für $V = 0$ oder für den Zustand der Ruhe gleichfalls $= 0$ wird, was zu der Folgerung zu führen scheint, dafs ein ruhender Hammer, Rammklotz u. s. w. gar keine Kraft ausübe; allein bei näherer Betrachtung ergiebt sich bald, dafs diese Formel blofs für den Stofs gilt und alle Kraft des Stofses daher wegfallen mufs, sobald die für den Stofs nothwendige Bewegung fehlt, ohne dafs damit die andere Kraft des Drucks, die der Bewegung nicht bedarf, zugleich mit verschwindet.

---

1 Vergl. Bxhr Théorie mathem. du jeu de Billard. In Quetelet Corr. math. T. IV. N. 2.

2 S. *Kraft*. Bd. V. S. 963.

3 Vergl. *Keil*. Bd. V. S. 853.

Digitized by Google

Von der angegebenen Formel läfst sich nicht eher ein zweckmäfsiger Gebrauch machen, als bis ein beständiger Factor für einen bestimmten Werth von V als Einheit aufgefunden ist, wonach dann eine Zurückführung auf andere Gröfsen, namentlich auf das Gewicht, möglich wird. Dafs dieses durch die Versuche von Braufoy nicht blofs am besten, sondern bisher einzig genügend geschehn sey[1], ist bereits angegeben und auf die Wirkungen der Rammklötze angewandt worden. Aus dem Resultate, wonach ein Körper von 1 ℔ Gewicht mit einer Geschwindigkeit von 5,33 Par. Fufs in einer Secunde herabfallend eine Kraft von 15,145 ℔. Troy-Gewicht ausübt, wird als Normalbestimmung für 1 Fufs Geschwindigkeit in einer Secunde aus

$$K = MV^2 \text{ leicht } K = M\,\frac{15{,}145}{(5{,}33)^2} = 0{,}53293\,M$$

gefunden, und da die Bestimmung des angewandten und des erhaltenen Gewichts keine Reduction bedarf, so folgt, dafs ein Pfund Gewicht, welches mit 1 Fufs Geschwindigkeit in 1 Secunde stöfst, eine Kraft von 0,5329 Pfunden ausübt, woraus dann allgemein für die Geschwindigkeit = v in Pariser Fufs und Sexagesimalsecunden

$$K = 0{,}53293\ M.\ v^2$$

und für die Fallhöhe = h in genähertem Werthe[2] (da eine scharfe Bestimmung wegen des Widerstandes der Luft ohnehin nicht leicht gegeben werden kann)

$$K = 30\ Mh$$

gefunden wird. Inwiefern hiervon eine Anwendung auf die Kraft der Rammklötze bei verschiednen Fallhöhen gemacht werden kann, ist bereits oben gezeigt worden; auch ist zur Erklärung der unerwartet starken Wirkungen der Keile erwähnt worden, dafs die schnelle Bewegung des Hammers diese begreiflich macht. Gäbe man z. B. einem Hammer von ½ ℔. Gewicht nur diejenige Geschwindigkeit, die er durch einen freien Fall

---

1 Vergl. *Ramme.* Bd. VII. S. 1208.

2 Diese zur Berechnung der Kraft der Rammklötze bequeme Formel ist absichtlich in ganzen Zahlen so bestimmt, dafs die erhaltnen Werthe kleiner sind, als eine strenge Zahlenbestimmung geben würde, weil es für die Praxis besser ist, dafs solche Gröfsen kleiner sind, als die strenge Berechnung ergiebt, um auf jeden Fall wegen des Resultates gesichert zu seyn.

Digitized by Google

von einer Secunde erhalten würde, so betrüge seine Kraft nach der obern Formel 239,8 ℔., nach der untern 225 ℔., da man aber annimmt[1], dafs ein mit der Hand geworfner Stein etwa 50 F. Geschwindigkeit erhalte, so ist diejenige, die man einem Hammer von 0,5 ℔. am Stiele zu ertheilen vermag, gewifs nicht geringer, und ein solcher würde dann eine Kraft von 666 ℔. ausüben. Beaufoy selbst findet hiernach, dafs eine 18pfündige Kanonenkugel bei 1000 engl. Fufs Geschwindigkeit eine Kraft von 8′467902 ℔. besitze, die obige Formel giebt für Pariser Fufs 9′592700 ℔., woraus begreiflich wird, dafs durch die neuern Wurfgeschütze bei geringer Masse der geworfnen Körper auch die härtesten Felsen zerstört werden, die den ältern unbehülflichen Belagerungsmaschinen einen unüberwindlichen Widerstand entgegensetzten. Beaufoy nimmt das Gewicht des gröfsten Mauerbrechers der Römer mit Einschlufs der Ketten zu 41112 ℔. an, seine Geschwindigkeit aber höchstens zu 12 Fufs, wonach seine Kraft nicht gröfser als 555680 ℔. seyn würde, die einer 18pfündigen Kanonenkugel mit 271,5 engl. Fufs Geschwindigkeit gleichkommt. Man könnte hieraus eine Erklärung der erstaunenden Wirkungen des Blitzes hernehmen. Ausgemacht ist nämlich, dafs der elektrische Funke einen Widerstand, selbst in den besten Leitern, findet, woraus nothwendig auf ein bewegtes materielles Fluidum geschlossen werden mufs. Indem aber die Geschwindigkeit des elektrischen Stroms nach den neuesten Versuchen von Gauss für irdische Räume unmefsbar scheint, so mufs auch die feinste so schnell bewegte Masse eine unwiderstehliche Gewalt gegen die Widerstand leistenden Körper auszuüben vermögen.

Insbesondere zeigt sich die Kraft des Stofses auch bei tropfbaren Flüssigkeiten, die mit einer unglaublichen Gewalt einem gegen sie gerichteten Stofse widerstehn und die Wirkungen desselben durch ihre Masse den einschliefsenden Wandungen mittheilen. So kann man eine Degenklinge durch einen heftigen Schlag mit ihrer Fläche gegen das Wasser zersprengen, eine gegen die Wasserfläche geschossene Bleikugel wird platt, die schwersten Geschützkugeln ricochettiren auf dem Wasser sechs- bis zwölfmal und eine im Wasser zerspri-

---

1 S. *Geschwindigkeit*. Bd. IV. S. 1352.

Digitized by Google

gende Bombe erzeugt eine erdbebenähnliche Erschütterung. Auch der Batterie-Funke, durch Wasser in gläsernen und selbst metallnen Röhren geleitet, zersprengt diese, segar wenn sie oben offen sind. Ein artiger Versuch macht dieses anschaulich. Man nehme ein Zuckerglas von etwa 2 bis 3 Zoll Höhe und über 1 Zoll Weite, senke in dasselbe den Kolben einer geeigneten Glasthräne hinab und zersprenge diese durch Abbrechen ihrer Spitze; das Glas wird unversehrt bleiben, wenn die Glasthräne seine Wandungen nicht berührt. Wiederholt man dieses Verfahren, nachdem das Glas mit Wasser gefüllt worden ist, so wird das Glas in zahllose Splittern zerschellt und in manchen Fällen findet man selbst den ein bis zwei Linien dicken Boden in kleine Stücke zerrissen[1].

17) Die Wirkungen des Stofses und des Drucks, die man so oft zusammenzustellen veranlafst wird, zeigen sich in ihrer Eigenthümlichkeit hauptsächlich in folgender Aufgabe[2]. Es liegen in der einen Schale einer zweiarmigen Waage 1000 ℔. auf einer festen Unterlage, wie schwer mufs ein Körper seyn, welcher aus 240 F. Höhe herabfallend jener Last die Geschwindigkeit von 1 Fufs in der Secunde mittheilen soll. Hierbei wird eine vorhandne Masse angenommen, deren Druck gegen ihre Unterlage unablässig statt findet und durch die Kraft des Stofses einer andern Masse aufgehoben werden soll, die durch das Aufschlagen auf die andere Waagschale jenem Drucke entgegenwirkend gedacht wird. Es liefsen sich nun leicht diejenigen Bestimmungen der Massen und Geschwindigkeiten finden, die eine Kraft von 1000 ℔. zu erzeugen vermöchten, allein dadurch würde immer keine Bewegung der 1000 ℔. entstehn, vielmehr blofs eine momentane Aufhebung, und wenn das in die andere Waagschale fallende Gewicht zur Ruhe gekommen, also der Stofs desselben gleichfalls in Druck verwandelt wäre, eine theilweise Verminderung des Drucks erzeugt werden. Sollen also beide Gröfsen genau vergleichbar werden, so müssen auch die drückenden 1000 ℔. eine gewisse Bewegung erhalten, die deswegen zu 1 Fufs in einer Secunde angenommen wird. Nach der Formel Nr. 1 ist für

---

1 Vergl. Bellani in Bibl. univ. 1833. Fevr.

2 Brandes Lehrbuch der Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung u. s. w. Th. II. S. 189.

diesen Fall v aus der Fallhöhe bekannt, $v' = 0$, $m' = 1000$, $u = 1$ Fufs und m unbekannt. Aus der Formel $v = 2\sqrt{gh}$, für $g = 15$ Fufs und $h = 240$ Fufs findet man $v = 120$ F. und diese Werthe substituirt findet man $m = 8{,}3$ ℔., welche also aus 240 F. Höhe ohne Widerstand der Luft herabfallend den 1000 ℔. eine Bewegung von 1 Fufs in einer Secunde geben würden. Andere ältere Aufgaben, z. B. wenn man eine zweiarmige Waage ins Gleichgewicht bringt, dann einen Theil der Belastung der einen Seite, welcher an einem Faden am Waagebalken über der Waagschale hängt, durch Abschneiden des Fadens in die letztere herabfallen läfst, oder wenn man über der einen Waagschale einen Hammer, mit dem Ende seines Stiels in einem Charniere beweglich, in die verticale Stellung bringt und dann nach hergestelltem Gleichgewicht durch Umfallen gegen die Waagschale schlagen läfst u. s. w., können nach den mitgetheilten allgemeinen Principien leicht gelöst werden.

18) Sowohl harte, als auch elastische Körper erhalten durch den Stofs einen Eindruck, wie auch bei den letztern zum Behuf der Auffindung der Bewegungsgesetze angenommen wurde, bei den erstern aber wegen des Begriffes der absoluten Härte als nicht stattfindend festgesetzt werden mufste, weiche Körper erhalten dagegen einen Eindruck, dessen Tiefe ihrer Weichheit und der Masse des stofsenden Körpers direct proportional ist. Zugleich üben sie einen Widerstand aus, welcher bewirkt, dafs die Bewegung des stofsenden Körpers allmälig aufhört, und da dieser Widerstand in jedem verschwindenden Zeittheilchen sich gleich bleibt, so kann er als eine umgekehrte beschleunigende (eine vermindernde) Kraft der Schwere ähnlich betrachtet werden, mithin als eine beständige Gröfse, die R genannt der eindringenden Masse umgekehrt proportional ist und sich also zur Schwere wie $\frac{R}{M}$ zu 1 verhält. Indem aber die Geschwindigkeit eines durch die Schwere bewegten Körper $v = 2gt$ ist, so mufs die durch den Widerstand verminderte $= \frac{R}{M} 2gt$, und wenn beide einander aufheben sollen, also wenn der mit der Geschwingigkeit $= v$ stofsende und der durch den Widerstand gehinderte Körper zur Ruhe kommen sollen, für die Zeit t vom An-

Digitized by Google

fange des Stofses an, bis der stofsende und eindringende Körper ruht, $v = -\frac{R}{M} 2gt$ seyn. Der in dieser Zeit durchlaufene Weg oder die Tiefe, bis zu welcher der Körper eindringt, ist $= \frac{R}{M} gt^2$, woraus sich die Tiefe des Eindringens berechnen läfst, wenn die Gröfse des Widerstandes bekannt ist, oder dieser letztere, wenn die erste bekannt ist. Das Eindringen dauert nämlich so lange, bis die Geschwindigkeit des bewegten Körpers aufhört oder bis $v - \frac{R}{M} 2gt = 0$ ist, welches die Zeit $t = \frac{vM}{R2g}$ und den Raum oder die Tiefe des Eindringens $s = \frac{R}{M} gt^2 = \frac{v^2 M}{4gR}$ giebt. Bei gleicher Masse und gleichem Widerstande ist also die Tiefe des Eindringens dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional und steht im geraden Verhältnisse der Masse und im umgekehrten des Widerstandes, wobei noch aufserdem die Gestalt des eindringenden Körpers in Betrachtung kommt. Hierauf beruhn die Untersuchungen über das Eindringen der Geschützkugeln von Robin und Euler[1], von Pat. d'Antoni und Tempelhof[2], auch hat Lambert[3] viele Versuche über das Eindringen fallender Körper in verschiedene Erdarten angestellt. Es ist aber die Endgeschwindigkeit fallender Körper $v = 2\sqrt{gh}$, also $v^2 = 4gh$, welches in den Ausdruck für s substituirt $s = \frac{hM}{R}$ giebt, wonach die Tiefe des Eindringens den Fallhöhen proportional ist. Bei Versuchen erhält man s, h und M, kann demnach den Widerstand R der verschiednen Körper auffinden. Auch der Widerstand, welchen *eingerammte Pfähle* zu leisten vermögen, kann hieraus unmittelbar gefunden werden[4], wenn man Rammklotz und Pfahl als harte stofsende und ge-

1 Neue Grundsätze der Artillerie u. s. w. Von L. Euler. Berl. 1745. 8. S. 719.

2 Phys. math. Grundsätze der Artillerie S. 405. Vergl. Karsten Lehrbegriff. Th. IV. §. 252.

3 Beiträge zur Math. Th. III. S. 470.

4 Ausführlicher ist dieses im Art. *Ramme* Bd. VII. S. 1202. gezeigt worden. Vergl. Brandes a. a. O.

stofsne Körper betrachtet, wobei der Widerstand so grofs werden mufs, dafs die gemeinschaftliche Bewegung nach dem Stofse verschwindet. Nach der Formel Nr. 1 ist die Geschwindigkeit nach dem Stofse $u = \frac{mv}{m+m'}$, und wenn dieser Werth von u statt v in die obige Formel, wonach $s = \frac{v^2 M}{4gR}$ ist, substituirt und statt M die Summe der beiden sich bewegenden Massen $m + m'$ gesetzt wird, so erhält man

$$s = \frac{m^2 v^2}{(m+m')^2} \cdot \frac{m+m'}{4gR} = \frac{m^2 v^2}{4gR(m+m')}$$

oder $R = \frac{m^2 v^2}{4g.s.(m+m')}$. Wiegt z. B. der Pfahl 1040 ℔., der Rammklotz 1200 ℔., beträgt die Fallhöhe 4 F. und sinkt der Pfahl bei den letzten 25 Schlägen nur noch $\frac{1}{4}$ Zoll, also bei jedem Schlage 0,000833 Fufs, so ist $\frac{v^2}{4g} = 4$ Fufs und

$R = \frac{1200^2.4}{2240.0{,}000833} = 3'085700$ ℔. der Widerstand, welchen der Pfahl der auf ihm ruhenden Last entgegenstellt.

19) Bei diesen Untersuchungen mufs der Stofs tropfbarer Flüssigkeiten gegen feste Körper mindestens im Allgemeinen berücksichtigt werden, wenn auch der Stofs flüssiger Körper unter sich wegen der augenblicklichen Aenderung der Gestalt und der Vermischung mit einander keine genauen Bestimmungen gestattet und der Stofs fester Körper gegen Flüssigkeiten mit den Untersuchungen des Widerstandes flüssiger Körper zusammenfällt.

Wenn flüssige Körper sich im luftleeren Raume bewegen und diese Bewegung nicht zu sehr durch die Adhäsion an den Wandungen gehindert wird, so erscheinen sie beim Anstofsen an feste Körper als hart, üben eine grofse Gewalt aus und vermögen leicht die getroffenen Stellen spröder Substanzen zu zerschlagen, zumal wenn ihre Bewegung sehr schnell ist. Dieses zeigt sich beim *Wasserhammer*[1] und noch mehr beim Schlagen des Quecksilbers gegen die obere Wandung der Barometerröhren, wenn man sie schnell umkehrt, wodurch häufig das Zerbrechen derselben veranlafst wird. Ohne Zwei-

1 S. *Wasserhammer*.

fel kommen hierbei die bekannten Gesetze des Stofses in Betrachtung, die aber wegen mangelnder Schärfe der nöthigen Bestimmungen sich nicht näher nachweisen lassen.

Die Theorie des Stofses einer bewegten Wassermasse gegen irgend einen gegebenen Körper kann in ihren ersten Elementen keine andere seyn, als die vom Stofse harter Körper, d. h. die dadurch erzeugte Geschwindigkeit ist dem Producte aus der Geschwindigkeit in die Masse des bewegten Wassers, auf beide nach dem Stofse bewegte Massen vertheilt, proportional, die durch den Stofs erzeugte Kraft aber dem Quadrate dieser Geschwindigkeit; allein so einfach genommen wird das bewegte Wasser als fester Körper und ohne Rücksicht auf die Aenderung seiner Form beim Aufstofsen und auf die aus der Bewegung des Fliefsens nothwendig hervorgehenden Bedingungen betrachtet, was in der Wirklichkeit nicht statt findet. Beim Stofse des Wassers gegen irgend eine Fläche macht es einen bedeutenden Unterschied, ob der stofsende Wasserstrahl sich frei oder zwischen Begrenzungen bewegt, ob diese Begrenzung aus festen Körpern, wie bei einem Gerinne, oder aus einer gleichfalls bewegten Wassermasse, wie bei den Schaufeln der Schiffsmühlen, besteht. Noch wichtiger ist der Umstand, dafs die getroffnen Körper theils selbst in Bewegung sind, wodurch dann die Geschwindigkeit des bewegten Wassers nicht ganz, sondern nur zum Theil aufgehoben wird, theils aber sich in Ruhe befinden, wobei es dann wieder einen grofsen Unterschied macht, ob ihre Fläche gröfser ist, als der Querschnitt des stofsenden Wasserprisma's, oder kleiner. Kann nämlich das Wasser wegen des Widerstandes des gestofsnen Körpers nicht frei ausweichen, so häuft es sich vor demselben an und wirkt dann gleichzeitig durch Stofs und Druck, wobei letzterer nach den jedesmaligen Bedingungen gleichfalls verschieden seyn und die eigentliche Gewalt des Stofses mehr oder weniger befördern kann. Man hat daher von Anfang an die Kraft des Wasserstofses durch solche Versuche aufzufinden gesucht, in denen die verschiednen Bedingungen gegeben waren, und es verdienen unter diesen die Versuche von Smeaton[1], von v. Gerstner[2], von Bos-

1 Phil. Trans. 1759. p. 100.
2 Abhandl. d. Kön. Böhm. Ges. d. Wiss. Th. II.

sut[1], du Buat[2], v. Langsdorf[3], Monosi[4], de Lorgna[5] und den beiden Michelotti's vorzüglich genannt zu werden, der ältern von Kraft und Dan. Bernoulli nicht zu gedenken. Rücksichtlich der hierdurch erhaltenen Resultate und deren praktischer Anwendung, die zu sehr aufser den Grenzen dieses Werkes liegen, mufs ich auf die ausführlichen Schriften über die Hydrodynamik verweisen und begnüge mich hier mit einigen allgemeinen Bemerkungen.

Steht dem bewegten Wasser eine durch dasselbe zu bewegende Fläche entgegen, so wird es gegen diese einen Druck ausüben, welcher dem Gewichte einer Wassersäule vom Querschnitte der stofsenden Wasserader und von derjenigen Höhe, die der Geschwindigkeit der Bewegung des Wassers zugehört, proportional ist. Heifst demnach die Fläche des Querschnitts der stofsenden Wasserader $= f^2$, so ist die bewegende Kraft derselben $K = 70 f^2 \frac{v^2}{2g}$ für eine ruhende Fläche und $K = 70 f^2 \frac{v^2}{2g} (v - v')$ für eine mit der Geschwindigkeit $= v'$ bewegte Fläche, wenn f in Pariser Fufs genommen und berücksichtigt wird, dafs ein solcher Kubikfufs Wasser 70 ℔. wiegt[6]. Hierbei wird vorausgesetzt, dafs die Axe der Wasserader auf die gestofsne Fläche perpendiculär gerichtet sey, im entgegengesetzten Falle aber würde bei einem Neigungswinkel $= \varphi$ der reducirte Werth von $K' = K \sin. \varphi$ werden. Diese Bestimmung von K findet hauptsächlich dann statt, wenn die bewegte Wasserader gegen die ebenen Flächen der Radschaufeln stöfst, deren Fläche ohnehin so grofs genommen wird, dafs sie den gesammten Stofs der Wasserader aufzufan-

---

1 Lehrbegriff der Hydrodynamik, übers. von Langsdorf. Frankf. 1792, II Th. 8,

2 Principes d'Hydraulique. ed. 2. Par. 1786.

3 Ausführliches System d. Maschinenkunde Th. I. S. 245, worin auf ältere Werke verwiesen wird.

4 Mém. de la Soc. de Verona 1788.

5 Sperienze idrauliche. Turino 1771. II Vol. 4. Mém. de l'Acad. de Turin T. II. u. T. IV. p. 122. Versuche über die Gestalt, die der Wasserstrahl auf der gestofsnen Scheibe annimmt, von F. Savart in Ann. Ch. Phys. T. LIII. p. 337. Theoretische Untersuchungen von La Grange in Mém. de la Soc. de Verona T. II.

6 S. *Rad.* Bd. VII. S. 1171.

Digitized by Google

gen vermag, mithin weit gröfser als f^2; befindet sich aber die gestofsene Fläche in einer grofsen bewegten Wassermasse, so giebt ihre Gröfse selbst die der stofsenden Wasserader. Hierbei hat die Gestalt dieser Fläche einen bedeutenden Einfluſs, wie im Art. *Widerstand* näher untersucht werden mufs, und es genügt daher hier nur die allgemeine Bemerkung, dafs man die gröfste auf die Axe des stofsenden Wasserprisma's perpendiculäre Durchschnittsfläche des gestofsenen Körpers als gestofsene Fläche annimmt. Ist dann der Körper kugelförmig oder dieser Gestalt ähnlich, so kann den Erfahrungen gemäfs diese Fläche nicht ganz genommen werden, sondern man mufs sie mit einem constanten Factor m, welcher nach Eytelwein 0,7886 beträgt, multipliciren[1].

Von der vorstehenden Formel läfst sich eine Anwendung auf die *Rollsteine* machen, die in den Flüssen durch den Stofs des Wassers fortbewegt werden. Soll eine Bewegung solcher Körper statt finden, so mufs der Stofs des Wassers in Pfunden ausgedrückt dem Gewichte derselben mindestens gleich seyn oder $K = P$. Nehmen wir den einfachsten Fall und denken wir uns die Rollsteine mit Einschlufs des Sandes als Kugeln, so mufs K mit dem constanten Factor m multiplicirt werden. Das Gewicht der Körper ist dann aber ihrem kubischen Inhalte multiplicirt mit ihrem specifischen Gewichte $= \Pi$ und mit 70 ℔. als dem Gewichte eines Kubikfufses Wasser gleich, wenn Pariser Mafs angenommen wird. Hiernach ist, wenn $g = 15$ Fufs angenommen und der Halbmesser des gestofsenen Körpers $= r$ genannt wird,

$$K = P, \text{ oder } 0{,}7886 \frac{f^2 v^2}{2g} . 70 ℔. = \tfrac{4}{3} r^3 \pi . \Pi . 70 ℔.,$$

$$\text{woraus } 0{,}019715 \frac{v^2}{\Pi} = r$$

wird, da der stofsende Wassercylinder und der gestofsene Körper einen gleichen Halbmesser ihrer Durchschnittsflächen haben, und mit Rücksicht auf den Gewichtsverlust eines jeden Körpers im Wasser

$$r = 0{,}019715 \frac{v^2}{(\Pi - 1)}.$$

Der Halbmesser der im Wasser fortrollenden Steine ist also

---

1 Vergl. Art. *Strom*.

dem Quadrate der Geschwindigkeit des Fliefsens direct und ihrem specifischen Gewichte umgekehrt proportional. Wird letztere = 1 Fufs in einer Secunde gesetzt und in genähertem Werthe das specifische Gewicht der Rollsteine $\Pi = 2{,}5$ angenommen, so ist der Halbmesser der Steinchen, die dieser Bewegung zu widerstehn aufhören, oder $r = 0{,}01314$ par. F. $= 1{,}89216$ par. Linien. Weil für diese Aufgabe der Durchmesser leichter als der Halbmesser vorgestellt wird und das spec. Gewicht für die meisten harten Rollsteine zu klein angenommen ist, aufserdem aber alle diese Steine und Sandkörner in den Flufsbetten durch Reibung und Einpressung zwischen andere oder in den Boden schwerer beweglich sind, so werden wir uns von der Wahrheit nicht weit entfernen, wenn wir den Durchmesser derjenigen Rollsteine, die bei der Geschwindigkeit des fliefsenden Wassers von 1 par. Fufs in einer Secunde bewegt zu werden anfangen, zu 3,5 par. Linien annehmen. Ferner ist für die verschiedenen Rollsteine $r : R = v^2 : V^2$, also für $r = 1$ und $v = 1$ ist $R = V^2$. Bewegt sich also das auf dem Boden der Flufsbetten am langsamsten fliefsende Wasser nur mit 0,5 Fufs Geschwindigkeit, so wird aller Sand, dessen Körner einen Durchmesser von 1 par. Linie haben, liegen bleiben und nur der feinere fortgespült werden. Wir finden daher in den obern Theilen der Flüsse, wo ihre Bewegung am schnellsten ist, die gröfsten Rollsteine, der feinste Flufssand wird aber in der Nähe ihrer Mündungen aufgehäuft. Das Wasser im Bagnithale strömte mit 32 Fufs Geschwindigkeit und vermochte daher Steine von fast 25 Fufs Durchmesser fortzustofsen, woraus erklärlich wird, wie die schnellen Meeresfluthen bei stürmischer See Felsblöcke von mehrern Tonnen Gewicht ans Ufer zu werfen pflegen. Nach den Versuchen von DU BUAT[1] widersteht feiner Sand einer Geschwindigkeit von 6 Zoll, grober und eckiger von 8 Zoll, der Kiessand der Seine nach seiner Gröfse einer Geschwindigkeit von 4 bis 12 Zoll, abgerundete Kieselsteine, die einen Zoll Durchmesser haben, einer Geschwindigkeit von 2 Fufs, eckige Feuersteine von der Gröfse eines Hühnereies einer Geschwindigkeit von 3 Fufs in einer Secunde. Eine anderwei-

---

1 Grundlehren der Hydraulik. Ueb. von ETTELWEIN. Berl. 1796. Th. I. §. 71.

tige Anwendung dieser Gesetze findet statt beim *Schlemmen* der gepochten Erze und bei den *Goldwäschen*, indem die leichtern Erdtheile durch langsam fliefsendes Wasser, die gröfsern Steinchen aber durch schneller fliefsendes fortgespült werden, die specifisch schwerern Erz- und Metalltheile aber liegen bleiben.

Der Stofs expansibler Flüssigkeiten ist dem der tropfbaren dem Wesen nach völlig gleich, die ganze Untersuchung wird aber am füglichsten für den Art. *Wind* aufgespart.

M.

Stofsheber.

Hydraulischer Widder, Stofswidder, hydraulischer Stöfser; Bélier hydraulique; *Hydraulic Ram.*

Eine sehr sinnreich ausgedachte hydraulische Wasserförderungsmaschine wurde von ihrem Erfinder Montgolfier vermuthlich deswegen *Bélier* (*Widder*) genannt, weil bei ihr eine stofsende Wassersäule das bewegende Princip ist und sie hierdurch entfernte Aehnlichkeit mit dem Mauerbrecher (*aries*) der Alten hat. In Frankreich hat man diese Benennung beibehalten, in Deutschland sie zuerst wörtlich übersetzt, bald aber Anstofs daran gefunden, dafs die Maschine mit einem Widder durchaus keine Aehnlichkeit habe, und daher den Ausdruck *Stofsheber* eingeführt, welcher wohl noch der gebräuchlichste ist, obgleich man im Reden die Maschine meistens schlechthin *Bélier* zu nennen pflegt. Gegen den Namen Stofsheber wird jedoch gleichfalls eingewandt, dafs das wohlbekannte Princip des Hebers durchaus nicht dabei in Anwendung komme, und Langsdorf wählt daher die Benennung *hydraulischer Stöfser*, welche dem englischen Namen am nächsten kommt und das Wesen der Maschine recht gut bezeichnet; doch habe ich es vorgezogen, den bekannteren Namen hier einstweilen beizubehalten.

1) Montgolfier ist ohne Widerrede der Erfinder dieser Maschine, indefs machte er seine Rechte auf diese Erfindung erst geltend, nachdem die Sache von England aus in Frank-

Digitized by Google

reich bekannt wurde. Bereits im Jahre 1796 liefs er nämlich eine solche Maschine zur Förderung des Wassers bei seiner Papierfabrik zu Voiron erbauen[1], schickte eine Zeichnung und Beschreibung davon an Watt und Boulton, welche im folgenden Jahre sich ein Patent darauf ertheilen liefsen, wovon eine Nachricht nach Frankreich kam[2]. Die Ansprüche Montgolfier's fanden von England aus keinen Widerspruch, die Sache aber wurde erst damals nicht sowohl in Frankreich, als vielmehr hauptsächlich in Deutschland allgemein bekannt[3], als man die zahlreichsten Versuche anstellte, um die Bedingungen dieses hydraulischen Apparates kennen zu lernen, indem man es zugleich an einer Begründung der Theorie nicht fehlen liefs. Schon früher, nämlich im Jahre 1797, suchten Montgolgier und Argant als gemeinschaftliche Erfinder dieser Maschine um ein Patent darüber nach und erhielten dieses auch auf 15 Jahre, ihre Erfindung wurde aber in Anspruch genommen durch Viallon[4], welcher behauptete, beide hätten in demselben Jahre Versuche ähnlicher Art bei ihm gesehn, sich mit ihm zur Fortsetzung derselben verbunden, nachher aber die Ausführung im Grofsen für zu kostbar erklärt und bald darauf diejenigen öffentlich gezeigt, in Folge deren sie das Patent erhielten. Viallon setzte die ganze Sache, als den erzielten Zweck nicht erreichend, sehr herab und überhaupt fand der durch keine genügende Theorie unterstützte Vorschlag keineswegs so vielen Beifall, als ihm später zu Theil wurde, nachdem man Kenntnifs davon erhielt, dafs solche Maschinen in England wirklich ausgeführt worden seyen[5].

2) Den ersten Stofsheber, welchen Montgolfier und d'Argant zu Paris zeigten, stellt die Figur dar. Die Leitungsröhre CC war rund, das Ventil dx bestand aus einer Scheibe, die durch das Gewicht der Kugel d sich öffnete, wenn der Stofs und Druck des Wassers sie nicht verschlos-

Fig. 886.

---

1 Journ. des Mines. T. XIII. N. 73. Juli 1802.

2 Ebend. No. 66.

3 Französ. Annalen von Pfaff und Friedländer 1803. Th. II. St. 5. S. 17. G. XIX. 54.

4 Traité d'un nouveau moyen pour élever les eaux etc. Paris 1798.

5 Bullet. des Sciences, par la Soc. phil. An. VI. (1798.) Nr. 8. p. 58. Journ. de Phys. XLVI. p. 148. G. I. 861.

Digitized by Google

sen, die aber nachher abwechselnd wegen ihres geringen Uebergewichts durch das am Ende ausfliefsende Wasser mit einem hörbaren Schalle gegen einen Ring am Ende der Leitröhre getrieben wurde. In der Steigröhre M befand sich ein gewöhnliches Klappenventil e, wodurch dem hinaufgetriebenen Wasser der Rückgang verschlossen wurde, und um den ausfliefsenden Strahl fortdauernd zu machen, war die Steigröhre durch einige oberhalb e befindliche Löcher mit dem aus der Zeichnung kenntlichen Windkessel in Verbindung gesetzt. Die Steigröhre hatte 1,5 Zoll Durchmesser bei ungefähr 30 Fufs Höhe, die Zuleitungsröhre 5 Zoll Durchmesser und 12 Fufs Länge und das Spiel der Ventile wechselte 12- bis 15mal in einer Minute. Von dieser Construction war auch derjenige Bélier, welcher 1799 in der Strafse Montmartre aufgestellt wurde, worüber Bossut und Cousin dem Nationalinstitute einen nicht sehr günstigen Bericht abstatteten. Die Leitröhre war 4 Z. 7 Lin. weit, 25 Fufs lang, hatte 18 Zoll Fall; die Steigröhre hatte 9 Fufs 9 Zoll Höhe, das Ventil gab 30 Stöfse in einer Minute und die Maschine hob nicht mehr als die Hälfte des verbrauchten Wassers[1]. Auf gleiche Weise war auch diejenige Maschine gebaut, welche 1802 öffentlich ausgestellt wurde, wofür der Erfinder die goldene Medaille und ein *Brevet d'invention* erhielt[2]. Der wesentlichste Theil der Maschine ist das Ventil der Leitröhre, welches so eingerichtet und insbesondere so genau balancirt seyn mufs, dafs es ohne zu grofsen Wasserverlust den Wechsel des Oeffnens und Schliefsens ohne Unterbrechung fortsetzt. Montgolfier verliefs daher die ursprüngliche Einrichtung, dasselbe am Ende der Leitröhre anzubringen, und gab ihm seinen Platz vor der Steigröhre. Von dieser Einrichtung war dasjenige Modell, welches Gilly aus Paris kommen liefs und worüber Wrede am 11. April 1804 der philomathischen Gesellschaft zu Berlin einen Bericht abstattete[3]. Die Zeichnung giebt ohne weitere Beschreibung eine Vorstellung der Maschine, und es wird daher genügen zu bemerken, dafs die Leitröhre L M eine ver- Fig. 387.

1 G. XIX. 90.

2 Sonnini Bibliothèque physico-économique. 1ster Jahrg. Hft. 5. (Fevr. 1803.) T. I. p. 289.

3 G. XIX. 54.

Digitized by Google

hältnifsmäfsig bedeutende Länge und Weite haben mufs, um eine (durch Masse und Geschwindigkeit bedingte) genügende Kraft des stofsenden Wassers zu erhalten, übrigens aber kann sie horizontal und mit einem Gefäfse A B versehn seyn, um hierdurch die der Fallhöhe proportionale Geschwindigkeit zu erhalten, oder gegen den Horizont geneigt und ohne dieses Gefäfs, weil hierdurch die Bedingung des Fliefsens von selbst gegeben wird. In einem Flusse von dem erforderlichen Gefälle könnte diesemnach die Leitröhre in das Wasser selbst gelegt werden und die erforderliche Wassermenge mit dem umgebenden aus dem Ventile auslaufen. Soll der Stofsheber in Gang kommen, so mufs man das Hauptventil E verschliefsen und nach dem Füllen der Röhren, also nach eingetretenem Stillstande, dieses Ventil niederdrücken. Sofort strömt das Wasser mit der bedingten Geschwindigkeit bei E aus, das bewegte Wasser stöfst das Ventil wieder zu, nach eingetretenem Stillstande fällt das Ventil durch sein eignes, gehörig abgemessenes Gewicht wieder herab, öffnet sich und das Wechselspiel erfolgt aufs Neue.

3) Es ergiebt sich aus dem Gesagten auf den ersten Blick, dafs die Zuleitungsröhre ebensowenig als die Steigröhre rücksichtlich ihrer Form von Einflufs seyn kann, auch mufs sich das Ventil der Steigröhre von selbst wohl öffnen, wenn ein hinlänglich kräftiger Stofs gegen dasselbe ausgeübt wird; es kommt also blofs darauf an, dem Ventile der Leitungsröhre die erforderliche Einrichtung zu geben, damit es sein Spiel beständig fortsetzt. Man giebt diesem daher einen Balancier, vermittelst dessen sich das Uebergewicht desselben so vermindern läfst, dafs es sich zwar bei nachlassendem Stofse selbst jederzeit öffnet, durch die wiedereingetretene Bewegung aber auch geschlossen wird. Aufserdem aber hat Langsdorf[1] diesem Ventile die Gestalt eines Keiles gegeben, dessen Körper a c b kleiner ist, als die Oeffnung, und sich in dieser bewegt, so dafs beim Oeffnen desselben ein Theil des Wassers an den Seiten abfliefst, die überragende Platte a c aber den Ausflufs gänzlich hindert. Die Federn x und y sollen zugleich die Schnelligkeit der Bewegung bei den Ventilen befördern, sind aber nicht nothwendig und auf jeden Fall würde es leicht

Fig. 388.

1 Ausführliches System der Maschinenkunde. Th. II. S. 351.

nachtheilig seyn, die erstere anzubringen, da das balancirende Gewicht f so gestellt werden kann, dafs das Ventil durch einen sehr geringen Stofs des Wassers sich schliefst, die Feder aber das Oeffnen desselben gänzlich hindern könnte. Die Zeichnung stellt zugleich einen Durchschnitt des wesentlichsten Theils desjenigen hydraulischen Stöfsers dar, dessen sich Langsdorf zu seinen Versuchen bediente; mir scheint jedoch diese Einrichtung aus Gründen fehlerhaft, die weiter unten entwickelt werden sollen.

4) Montgolfier selbst und insbesondere sein übertriebener Lobpreiser Denis Montfort[1] behaupteten zwar, das beim Stofsheber zum Grunde liegende Princip sey ein durchaus neues und bis dahin ganz unbekanntes, eine einfache Würdigung der Sache aber zeigt augenblicklich, dafs dasselbe kein anderes ist, als das vom Stofse des bewegten Wassers, welches Dan. Bernoulli und L. Euler längst ausführlich untersucht haben, Parrot aber beim *Sprungkegel* in Anwendung brachte. Montgolfier (wenn nicht zuerst Viallon) hat daher nur das Verdienst, dasselbe in die praktische Mechanik eingeführt zu haben, wobei es fraglich bleibt, ob dieses in Folge theoretischer Forschungen oder zufälliger Veranlassungen geschehn ist. Dafs Erscheinungen vorhanden sind, die hierauf führen, unterliegt keinem Zweifel. So erinnere ich mich gelesen zu haben, dafs Jemand in der Schweiz auf eine Wasserröhre, deren Auslauf deswegen durch einen Hahn in einem angelötheten Stücke verschlossen wurde, ein hohes Rohr setzen liefs, um das Wasser im obern Stocke auslaufen zu lassen. Die Einrichtung gerieth vollkommen, allein beim Schliefsen des untern Hahns nach einigem Auslaufen rifs das angesetzte Stück mit einem gewaltsamen Stofse mehrmals hinter einander ab, obgleich die Löthung mit genügender Festigkeit jederzeit wieder hergestellt wurde, und dem Uebel konnte nicht anders als durch langsames Schliefsen des Hahns abgeholfen werden. Eine dieser ähnliche Erscheinung, die beim Schliefsen einzelner Hahnen erfolgte, deren mehrere zum Ausflusse einer gemeinschaftlichen Wassermasse von einigem

---

1 In Sonnini's Zeitschrift a. a. O. Vergl. Journ. de l'École polytechnique T. VII. Cah. XIV. p. 296. von 1808.

Drucke dienten, erzählt Hachette[1]. Das hierbei zum Grunde liegende Princip ist also ganz einfach folgendes. Wenn nach dem Oeffnen des Ventiles der Leitungsröhre das Wasser in dieser mit der aus den gegebenen Bedingungen folgenden Geschwindigkeit in Bewegung gesetzt ist und das Ventil wird plötzlich geschlossen, so wird das Wasser vermöge des Gesetzes der Trägheit in dieser Bewegung beharren und daher nach den Gesetzen des Stofses gegen die seiner Bewegung entgegenstehenden Körper mit einer dem Quadrate seiner Geschwindigkeit und seiner Masse proportionalen Kraft stofsen. Hierdurch wird das Ventil der Steigröhre geöffnet, es entweicht durch dasselbe eine gewisse Quantität Wasser, welche oben aus der Steigröhre ausfliefst, wenn sie hoch genug gehoben und die Gewalt des Stofses hierfür hinreichend ist. Hieraus erwächst jedoch ein Widerstand, wodurch die Bewegung abnimmt und allmälig bis zur Ruhe übergeht. Man könnte also annehmen, dafs nach diesem eingetretenen Stillstande das erste Ventil durch seine Ueberwucht sich wieder öffnete, allein es müfste hierbei den Gegendruck des ruhenden Wassers überwinden, wozu die hinreichende Gewalt nicht vorhanden ist, und es würde also ein bleibender Stillstand eintreten, wenn man nicht annehmen wollte, dafs wegen des in der Regel nicht vollständigen Schliefsens das specifisch schwerere Ventil im Wasser niedersänke, was jedoch eine sehr kühne Hypothese seyn würde und aufserdem mit der Schnelligkeit des Oeffnens direct im Widerspruche steht. Man bedarf indefs einer solchen Voraussetzung nicht, vielmehr folgt aus der Betrachtung eines im Gange befindlichen Bélier's schon im Allgemeinen und geht auch speciell aus den Beobachtungen Extelwein's hervor, welcher einen Theil der Zuleitungsröhre aus Glas verfertigte und die Schwankungen eines darin befindlichen Fadens wahrnahm, dafs die zum Stillstande gebrachte Wassermasse wieder zurückfliefst und hierdurch das Oeffnen des Ventiles bewirkt. Diese Oscillationen, die man bei communicirenden Röhren gleichfalls wahrnimmt[2] und deren Ursache wohl mehr in einer pendelartigen Schwingung, als in der Elasticität des Wassers gegründet seyn mag, bedin-

---

1 Traité élém. des Machines. Par. 1828. p. 155.

2 S. *Sprungkegel.* Vergl. *Röhre.* Bd. VII. S. 1401. Anm.

Digitized by Google

gen also hauptsächlich das Wechselspiel der Ventile bei dieser hydraulischen Maschine.

5) Der erste, welcher in Deutschland eine angemessene Erklärung der Wirkungsart des Stofshebers aus den Versuchen folgerte, welche er mit dem aus Paris erhaltenen, bereits oben erwähnten Modelle angestellt hatte, war Wrede[1]. Noch zahlreicher und tiefer in das Wesen der Sache eindringend waren die gleich nachher mit verschiedenen Modellen angestellten Beobachtungen und die hierauf gegründeten Untersuchungen von Eytelwein[2], durch welche, in Verbindung mit einem unmittelbar darauf erschienenen Werke[3], dieser Apparat in Deutschland allgemein bekannt wurde. Die Jablonowski'sche Gesellschaft setzte einen Preis auf eine durch eigene und fremde Versuche begründete Theorie des Stofshebers, welchen v. Busse erhielt[4], die batavische Gesellschaft zu Rotterdam versprach einen Preis für eine Anleitung, wie man diese neue Maschine zur Fortschaffung der Binnenwater benutzen könne, erhielt aber keine genügende Beantwortung[5], und so ist mir auch nicht bekannt, dafs auf die von der Berliner Akademie ausgesetzte Preisfrage über die mathematische Theorie des Stofshebers, die bis zum Jahre 1812 verlängert wurde[6], eine den Forderungen genügende Abhandlung eingereicht worden sey. Inzwischen erschienen aufser den beiden bereits genannten Abhandlungen, unter denen die von Eytelwein am reichhaltigsten und bekanntesten ist, noch drei andere, in denen nicht blofs eine mathematische Theorie der Wirkungsweise des Stofshebers gegeben, sondern auch neue Versuche mitgetheilt und mit der Theorie verglichen wurden, nämlich von Langsdorf[7], von Brunacci[8]

---

1 G. XIX. 55. Anderweitige Arbeiten, z. B. von Pino und Racogni in Atti della Soc. Ital. T. X., übergehe ich mit Stillschweigen.

2 Bemerkungen über die Wirkungen und vortheilhafte Anwendung des Stofshebers. Berl. 1805.

3 Beschreibung und Abbildung des hydraulischen Widders. Leipz. 1806.

4 G. XXVI. 366.

5 Ebend. XXXIII. 367.

6 Ebend. XXXI. 224. XXXIII. 488. XXXVI. 246.

7 Münchner Denkschr. für 1809 und 1810.

8 Trattato dell' Ariete idraulico del Cavaliere Brunacci. Milano 1810. 4. Diese Abhandlung wurde zur Concurrenz nach Berlin abge-

und von Wrede[1], so dafs also dieses Problem wohl als erschöpft betrachtet werden darf.

6) Die in den genannten Werken enthaltene vollständige Theorie des Stofshebers, welche auf die bereits erwähnten physikalischen Gesetze des Stofses gegründet ist, wird zu grofser Ausführlichkeit halber selbst in den gröfsern Werken über Maschinenlehre, z. B. von Langsdorf, Hachette, Borgnis[2], Christian[3], Barlow[4] u. a., nicht mitgetheilt und dürfte daher hier noch weniger am rechten Orte seyn, weswegen ich mich nach dem Beispiele dieser Gelehrten auf einige Bemerkungen über die Gröfse des Effectes begnüge, die vermittelst dieses Apparates nach den Resultaten der damit angestellten Versuche erhalten wird. In dieser Beziehung folgt einfach, dafs durch den Stofs des Wassers in der Leitröhre, dessen Kraft durch die Masse und Geschwindigkeit in Folge der Fallhöhe gegeben worden ist, eine dieser proportionale Quantität Wasser zu einer bestimmten Höhe gefördert wird. Sowohl die bewegende, als auch die bewegte Menge des Wassers sind Functionen der Massen und der Höhen. Heifst also die Fallhöhe des Wassers in der Zuleitungsröhre = h, in der Förderungsröhre = H (wobei auf jeden Fall H gröfser ist als h, weil die Bestimmung der Maschine keine andere seyn kann, als durch eine gröfsere Wassermasse von geringerer Fallhöhe eine kleinere Wassermenge auf eine gröfsere Höhe zu fördern), die der erstern zugehörige Wassermenge = M′, die der zweiten = M, so wäre ohne Rücksicht auf Hindernisse der Bewegung einfach

---

sandt, gelangte aber nicht an die Akademie. Ein kurzer Auszug aus derselben befindet sich in Brugnatelli Giornale. T. IV. p. 277.

1 Grundrifs einer Theorie des Stofshebers, nach Mafsgabe der höhern Mechanik. Berlin 1815. 4.

2 Traité des Machines hydrauliques. p. 64. Mécanique usuelle. p. 229.

3 Mécan. industrielle. T. III. p. 394.

4 Encyclop. metropolit. Art. Hydrodynamics. p. 292. Sonstige Beschreibungen dieser Maschine findet man in Dupin Cours de Géométrie et de Mécanique. T. III. p. 258. u. 292. Dict. Technol. T. III. p. 3. (von Francoeur), Encyclop. méthod. Phys. T. II. p. 93., von Boquillon im Industriel 1829. p. 57., daraus in Dingler polyt. Journ. Th. XXXIII. S. 417.

$$h.M' = H.M, \text{ also } M = \frac{h}{H}M',$$

woraus folgt, dafs die geförderte Wassermenge der Masse und Fallhöhe des Wassers in der Zuleitungsröhre direct, der Förderungshöhe aber umgekehrt proportional ist. Hierbei kommen jedoch alle diejenigen Hindernisse in Betrachtung, die aus dem Ein- und Ausflusse des Wassers bei Oeffnungen und durch den Widerstand entspringen, welchen die Bewegung desselben in längeren Röhren erzeugt, und die bereits in den Artikeln *Hydraulik*, *Pneumatik* und *Röhre* abgehandelt worden sind. Würde die Summe dieser Hindernisse durch w bezeichnet, so liefse sich diese Gröfse durch einen constanten Coefficienten ausdrücken, welcher auf jeden Fall kleiner als 1 seyn müfste, und man erhielte die theoretisch bestimmte Wassermenge durch die Formel $M = w\frac{h}{H}M'$, woraus sich zugleich der Effect der Maschine finden liefse. Soll dieser aus Versuchen bestimmt werden, so heifse derselbe $= E$, die durch das Ventil der Zuleitungsröhre bei jedem Stofse verlorene Wassermenge $= m$, die in die Steigröhre eintretende $= M$, die Bezeichnungen von h und H bleiben wie oben, und man erhält

$$E = \frac{MH}{(M+m)h}.$$

Langsdorf hat aus Eytelwein's Versuchen die sieben am meisten von einander abweichenden Werthe für E ausgesucht und findet sie 0,088; 0,134; 0,861; 0,125; 0,703; 0,882; 0,900, welche Unterschiede hauptsächlich von der Einrichtung der Ventile abhängen.

7) Die Maschine scheint mir hauptsächlich da vorzugsweise geeignet zu seyn, wo beträchtliche Wassermengen auf verhältnifsmäfsig geringe Höhen gehoben werden sollen, namentlich also zur Bewässerung der Wiesen aus Bächen von nicht unbedeutenden Gefällen, wobei die Einfachheit und Bequemlichkeit ihrer Anlage, die Leichtigkeit ihres Transportes und der Umstand, dafs sie bei etwaigen plötzlichen Wasserschwellen weit weniger, als Wehre und Schleufsen, kostspieligen Beschädigungen ausgesetzt sind, ihren Vorzug begründen. Man hat jedoch in Deutschland bisher wenig oder gar keinen Gebrauch davon gemacht, Langsdorf gesteht, von keiner solchen Anlage Kenntnifs zu haben, und ich selbst weifs

nur aus mündlichen Mittheilungen, dafs eine solche sich unweit Baden-Baden befindet, die jedoch nur zuweilen in Gang gesetzt wird. Vielleicht liegt die Ursache hiervon in dem Umstande, dafs man den ununterbrochenen Gang derselben nicht mit Sicherheit verbürgen kann, wenigstens habe ich bei einem Modelle gefunden, dafs die Ventile zwar stundenlang ohne Unterbrechung spielten und die Maschine während dieser Zeit einen sehr befriedigenden Effect gab, allein sie kam dann in unbestimmbaren Perioden meistens zum Stillstande, ohne dafs es mir möglich war, die Ursache hiervon aufzufinden, da ich bald darauf meinen Wohnort veränderte und keine so günstige Localität zur Fortsetzung der Versuche wiederfand. Aehnliche Erfahrungen hat auch Wrede bei seinen Versuchen gemacht und ich glaube, dafs sie überhaupt nur dann zum Vorschein kommen, wenn man die Maschine nicht blofs für kurze Probe-Versuche, sondern an einem geeigneten Orte aufstellt, wo ihr Spiel mindestens mehrere Tage anhaltend stattfinden könnte. Der Stillstand wird meistens dadurch herbeigeführt, dafs das Ventil der Zuleitungsröhre sich nach dem Schliefsen nicht wieder öffnet, indem der unterbrochene Gang sogleich wieder hergestellt wird, wenn man dieses Ventil anstöfst oder einen geringen Druck dagegen ausübt.

Ob bei andern, zum praktischen Nutzen ausgeführten, Maschinen dieser Art sich ähnliche Erscheinungen gezeigt haben, weifs ich nicht, es würde daraus aber nicht folgen, dafs dieser Umstand die fortdauernde Anwendung derselben unmöglich machen könnte, da es an solchen Orten, wo Arbeiter ab und zu gehen, nur eines kleinen Stofses gegen das genannte Ventil bedarf, um den gestörten Fortgang für mehrere Stunden und selbst Tage wieder herzustellen; nur bei entfernten, unbeobachteten Anlagen würde dieser Umstand ein Hindernifs der Anwendbarkeit abgeben. So nahe übrigens der Einwurf gegen die gemachte Bemerkung liegt, nämlich dafs die solche Unterbrechungen zeigenden Modelle in der Construction fehlerhaft gewesen seyn möchten, so schien es mir doch nicht überflüssig, bei einer so einfachen, daher nicht leicht zu verfehlenden, Einrichtung dieses in vielen Fällen höchst nützlichen, aber in Deutschland noch so selten zum praktischen Nutzen ausgeführten, Apparates die Möglichkeit eines etwas unsicheren Erfolges nicht mit Stillschweigen zu übergehen.

Die Sicherheit des Gelingens beruhet hauptsächlich auf der Einrichtung des Ventils der Leitungsröhre, und ich glaube, ohne jedoch vergleichende Versuche hierüber angestellt zu haben, dafs die von LANGSDORF vorgeschlagenen sich als nützlich bewähren würden. Ein wesentliches Hindernifs scheint mir aber daraus erwachsen zu können, wenn sich in dem Kasten E, worin sich beide Ventile münden, Luft ansammelt, die sich aus dem Wasser so leicht entwickelt. Es läfst sich nämlich denken, dafs diese bis auf einen gewissen Grad comprimirt würde, jedoch nicht so, dafs das Ventil der Steigröhre wegen des Gewichtes der darauf ruhenden Wassersäule sich öffnete, beim Zurückgange der stofsenden Wassersäule im Zuleitungscanale würde dann die Luft sich zwar wieder ausdehnen, sie könnte aber immerhin noch Elasticität genug behalten, um das Oeffnen des diesem zugehörigen Ventiles zu hindern, die Oscillationen würden dann blofs eine Zusammendrückung dieser eingeschlossenen Luftmasse bewirken, und so müfste nach bekannten Gesetzen allmälig ein gänzlicher Stillstand der Maschine erfolgen. Fig. 388.

8) In Frankreich hat dieser Apparat weit mehr Eingang gefunden, und MONTGOLFIER selbst war davon so eingenommen, dafs er beabsichtigte, die grofse Wasserkunst zu Marly durch einen Stofsheber zu ersetzen, dessen Kosten nicht so viel, als den Werth des alten Materials, betragen haben würden. Zu diesem Ende sollte ein Versuch im Grofsen mit einer Maschine angestellt werden, deren Zuleitungsröhre 33 Centimeter (1 Fufs) im Durchmesser hatte und wodurch das Wasser bei einer Fallhöhe von 1,6 Meter bis 155,5 Meter in die Höhe zu fördern war; allein der Tod MONTGOLFIER's im Jahre 1810, welcher diese Operationen leitete, unterbrach die Fortsetzung derselben. Auch HACHETTE[1] empfiehlt diese Maschine sehr wegen ihrer Wohlfeilheit, ihrer leichten Anwendbarkeit, selbst beim kleinsten Wasservorrathe, und wegen ihrer genügenden Wirkung; zugleich aber versichert er, dafs die Besitzer derselben durch ihre Leistungen sehr befriedigt worden sind. Um dieses näher nachzuweisen, giebt er die Dimensionen und Leistungen von 4 solchen Maschinen in Zahlenwerthen an, woraus LANGSDORF den Effect nach der oben mitgetheilten

1 Traité élém. des Machines. p. 160.

Digitized by Google

Formel berechnet hat. Die erste zu Lyon hat eine Leitröhre von 32,5 Meter Länge, 54 Millim. Durchmesser, eine Steigröhre von 227 Meter Länge, 34,1 Met. lothrechter Höhe, und giebt bei 10,6 Meter Fallhöhe und 84 Liter Wasserverbrauch 17 Liter in einer Minute, wonach also der Effect $=0{,}54$ ist. Bei der zweiten zu Senlis ist die Leitröhre 8 Meter lang, 0,203 Met. weit, die Höhe der Steigröhre beträgt 4,55 Meter, die Fallhöhe 0,979 Meter, und sie liefert bei einem Wasseraufwande von 1987 Liter 269 Liter in jeder Minute, also ist $E=0{,}554$. Die dritte zu Clermont-Oise hat eine Leitröhre von 33 Meter Länge, 0,027 Met. Weite, eine Steigröhre von 420 Met. Länge und 60 Met. Höhe, und liefert bei einem Wasseraufwande von 12,4 Liter und 7 Meter Fallhöhe 0,972 Liter Wasser in jeder Minute. Der Werth von E beträgt also 0,623. Die vierte Maschine endlich ist durch den Sohn Montgolfier's angelegt worden und besteht aus gufseisernen Röhren von 6,2 Lin. Wanddicke; die Zahl der Stöfse beträgt 60 in einer Minute. Hierbei ist die Länge der Leitröhre 33 Meter, ihr Durchmesser 0,11 Met., die Höhe der Steigröhre 59,44 Meter, die Fallhöhe 11,37 Meter, und sie liefert bei 140 Liter Wasseraufwand 17,5 Liter in jeder Minute, also ist $E=0{,}581$. Delcassan hat die Maschine No. 2 später wieder hergestellt und dabei gefunden, dafs die Wirkung bedeutend verstärkt wird, wenn die Maschine möglichst fest liegt und bei den Stöfsen keine Bewegung anzunehmen vermag, was bei Anlagen dieser Art sehr beachtet zu werden verdient.

9) Montgolfier gab gleichzeitig mit der beschriebenen Maschine eine andere ähnliche oder eigentlich nur von etwas abgeänderter Construction an, die den Namen Stofsheber noch eigentlicher verdient, von Hachette unter dem Namen *Bélier-Siphon* beschrieben, und auch in die englischen Werke über hydraulische Maschinen als *Ram-Siphon* aufgenommen worden ist[1]; ich finde jedoch nirgends eine Angabe, dafs dieselbe zum praktischen Gebrauche wirklich ausgeführt worden sey, wozu sie mir auch wenig geeignet scheint, da sie eine bedeutende Fallhöhe erfordert, die durch ihre Wirkung nach Art eines Hebers nicht compensirt wird, abgerechnet dafs sie sich entleeren würde, wenn ein zufälliges Hindernifs das Verschliefsen des Ventiles

---

1 S. Barlow in Encyclop. metrop. Art. Hydrodynamics p. 292.

der Steigröhre unmöglich machte, was dann die sehr beschwerliche Füllung der Zuleitungsröhre nach sich zöge. Die Zeichnung stellt die vom Erfinder[1] ursprünglich angegebene Gestalt derselben dar. Die Zuleitungsröhre ist bei dieser Maschine nicht gerade, sondern heberförmig, wie abfe gebogen. Das Wasser wird also, so lange das Ventil lk geschlossen, das Ventil f aber durch ein angemessenes Gegengewicht g geöffnet ist, aus dem höheren Gefäfse A in das niedriger stehende B fliefsen. Geschieht dieses mit der erforderlichen Geschwindigkeit, so verschliefst der Stofs des Wassers das Ventil f, die Bewegung desselben dauert aber nach dem Gesetze der Trägheit fort, und wenn das Moment derselben stark genug ist, so wird das Ventil lk geöffnet, das Wasser fliefst in das höhere Gefäfs C, bis der Zustand der Ruhe und dann Zurückströmung eintritt. Diese wird aber das ohnehin für sich zufallende Ventil lk schliefsen, dadurch öffnet sich das Ventil f, und das Wechselspiel der Ventile beginnt aufs Neue, sobald durch die Wassersäule im längeren Hebelarme die ursprüngliche Strömung des Wassers wieder eingetreten ist. Dieser Vorschlag ist später dahin abgeändert worden, dafs man an die Stelle des Behälters C ein verschlossenes Gefäfs mit einer Steigröhre gesetzt hat, in welcher das Wasser durch den Stofs auf ähnliche Weise, als beim gewöhnlichen Stofsheber, emporgetrieben werden soll. Fig. 389.

M.

Strahlenbrechung.

Refractio; Réfraction; *Refraction.*

Es ist in dem Art. *Brechung* umständlich gezeigt worden, dafs die Lichtstrahlen, wenn sie andere Körper treffen, nach gewissen Gesetzen in ihrer früheren Richtung abgelenkt oder gebrochen werden. Dasselbe hat also auch statt, wenn die von den Gestirnen des Himmels zu unserem Auge kommenden Lichtstrahlen durch die Atmosphäre der Erde gehen, von welcher sie ebenfalls in ihrer Richtung abgelenkt werden, was zur Folge hat, dafs wir diese Gestirne nicht mehr an

---

2 Bulletin de la Soc. philom. No. VIII. p. 58.

denjenigen Orten des Himmels sehen[1], wo sie in der That sind oder wo wir sie sehen würden, wenn unsere Erde von keiner das Licht brechenden Atmosphäre umgeben wäre. Diese Veränderung des scheinbaren Orts der Gestirne nennt man die astronomische *Strahlenbrechung* oder die *Refraction*, und da dem Astronomen vor allem daran gelegen seyn mufs, den wahren Ort der Gestirne, den sie in der That am Himmel einnehmen, zu kennen und sich von allen Illusionen, welche diesen Ort scheinbar verändern, zu befreien, so sieht man ohne weitere Erinnerung, dafs es für sie sehr wichtig seyn mufste, die Gröfse dieser Refraction bei allen ihren Beobachtungen auf das Genaueste kennen zu lernen.

Aus dem angeführten Art. ist bereits bekannt, dafs das Licht, wenn es aus einem dünneren Mittel in ein dichteres übergeht, von diesem dichtern Mittel gegen das Einfallsloth hingelenkt wird, d. h. dafs der Strahl nach der Brechung durch das dichtere Mittel einen kleinern Winkel mit der auf diesem Mittel im Einfallspuncte des Lichts errichteten Verticale bildet, als vor der Brechung, und dafs der gebrochene Strahl in derjenigen Ebene liegt, die von dem einfallenden Strahle und dem Einfallslothe gebildet wird. Sey also O der Mittel-

Fig. 390. punct der Erde BB′ und sey CAC′ die die Erde concentrisch umgebende Atmosphäre. Das Gestirn S schickt einen seiner Lichtstrahlen in der Richtung SA, so würde derselbe, wenn keine Atmosphäre da wäre, in derselben Richtung SAB bis in das Auge des Beobachters in B kommen. Zieht man dann die Linie OB bis Z verlängert, so wird Z das Zenith des Beobachters B und der Winkel SBZ wird die beobachtete Zenithdistanz des Sternes S seyn. Wenn aber die Erde von einer Atmosphäre CAC′ umgeben ist und der Lichtstrahl SA dieser Atmosphäre in dem Einfallspuncte A begegnet, so wird, da der Halbmesser jedes Kreises auf seiner Peripherie senkrecht steht, OA das Einfallsloth seyn und der Strahl SA wird durch diese Atmosphäre zu diesem Einfallslothe AO hin ge-

---

1 Bekanntlich setzt man den Ort eines gesehenen Gegenstandes dahin, wohin die in das Auge fallenden Lichtstrahlen von hier aus in gerader Richtung fortgesetzt treffen, ohne Einflufs der Veränderungen der Richtung, welche die Lichtstrahlen auf ihrer Bahn erhalten haben.

brochen, ihm also genähert werden und z. B. die Lage AB′ erhalten, die verlängert die Sphäre des Himmels in S′ treffen soll, und wo der gebrochene Strahl AB′ in derselben Ebene liegt, in welcher der einfallende Strahl SAB und das Einfallsloth AO sich befindet. Zieht man hier wieder den Halbmesser OB′ der Erde und verlängert ihn bis Z′, so wird Z′ das Zenith des Beobachters B′ seyn, und dieser Beobachter wird, wegen der Wirkung der Refraction, den Stern nicht mehr in S′, sondern er wird ihn in der verlängerten Richtung B′AS′ des gebrochenen Strahls B′A, also in S′ sehen, oder die Zenithdistanz des Sterns wird Z′B′S′, also kleiner seyn, als sie ohne Refraction gewesen wäre. Die Refraction vermindert daher alle Zenithdistanzen, oder wir sehen, wegen der Refraction, alle Gestirne in einer gröfsern Höhe, als wir sie ohne Refraction sehen würden. Zugleich sieht man, dafs diese Anwendung der Refraction *blofs* die Zenithdistanz afficirt, nicht aber auch das Azimuth, oder mit andern Worten, dafs die ganze Wirkung der Refraction in dem Verticalkreise des Gestirns statt hat, in dessen Ebene das Gestirn erhöht, aber nicht aus demselben herausgebracht wird.

In dieser einfachen Darstellung ist die Atmosphäre von ihrer äufsersten Grenze bis zur Oberfläche der Erde überall gleich dicht angenommen worden, daher der gebrochene Strahl AB′ als eine *gerade* Linie erscheint. Allein unsere Atmosphäre besteht, wie wir voraussetzen, aus unendlich vielen concentrischen Schichten, deren Dichtigkeit mit ihrer Annäherung zur Erde allmälig zunimmt. Dieses wird zur Folge haben, dafs der Lichtstrahl nicht blofs an der äufsersten Grenze A der Atmosphäre, sondern dafs er an jeder dieser Schichten eine geringe Brechung erhält und dafs sonach der gebrochene Strahl AB′ nicht mehr eine gerade, sondern eine in allen ihren Puncten gebrochene, d. h. dafs AB′ eigentlich eine krumme Linie seyn mufs. Aber auch dann wird die Gerade BA und B′A die Tangente dieser krummen Linie in ihren beiden äufsersten Endpuncten vorstellen und der Winkel BAB′ dieser beiden Tangenten oder der sogenannte *Contingenzwinkel* des Bogens B′A jener krummen Linie wird, wie zuvor, die gesuchte Refraction des Sternes S darstellen. Denn zieht man durch B′ eine gerade Linie B′s nach dem wahren Orte S des Sterns, so wird sie, wegen der unendlichen Entfernung des

Digitized by Google

Sterns, mit der Geraden BS parallel seyn, und der Winkel Z′B′s wird daher die wahre, sowie der Winkel Z′BS′ die scheinbare, durch die Refraction veränderte Zenithdistanz des Sterns ausdrücken, und die Differenz dieser beiden Winkel, d. h. der Contingenzwinkel BAB′ der beiden äufsersten Tangenten jener krummen Linie AB′, wird wieder die gesuchte Refraction seyn. Die erste jener beiden Tangenten BS oder die ihr parallele B′s ist nämlich die Gesichtslinie, in welcher der Beobachter in B′ den Stern *ohne* Refraction sehn würde, und die zweite jener Tangenten B′A ist die Gesichtslinie, in welcher derselbe Beobachter den Stern *mit* der Refraction in der That sieht, oder endlich B′s ist der wahre und B′A oder B′AS ist der scheinbare, durch die Refraction veränderte Ort des Sterns, und daher ist sB′A oder der ihm gleiche Winkel B′AB die gesuchte Refraction selbst.

Wenn der Lichtstrahl von dem Zenithpuncte des Beobachters kommt, so fällt er senkrecht auf die Oberfläche aller jener kugelförmigen Luftschichten und geht daher *ungebrochen* durch sie bis zum Auge des Beobachters. Im Zenith ist also die Refraction gleich Null. Je näher aber im Gegentheile das Gestirn dem Horizonte des Beobachters kommt, desto schiefer fällt der Lichtstrahl auf die Lichtschichten, desto stärker ist daher auch seine Refraction und für den Horizont selbst, d. h. für ein eben auf- oder untergehendes Gestirn ist die Refraction am gröfsten. Die Entfernung des Gestirns aber hat keinen Einfluſs auf die Refraction, die nur in dem Theile AB′ des Lichtstrahls statt hat, der innerhalb der Atmosphäre der Erde liegt und daher von der Länge AS dieses Lichtstrahls aufser der Atmosphäre unabhängig ist. Der Mond, die Sonne, die Planeten und alle Fixsterne werden daher in gleichen Höhen über dem Horizonte auch gleiche Refractionen erleiden, wenn anders das Licht aller dieser Körper gleichartig ist oder von der Atmosphäre auf dieselbe Weise gebrochen wird.

1) Kurze Geschichte der Refraction.

Die genaue Bestimmung der Refraction mufste allen Astronomen sehr wichtig erscheinen, da von ihr die Verläfslichkeit aller ihrer Beobachtungen abhängt. Dessenungeachtet gelangte man nur sehr spät zu dieser Bestimmung, ohne Zweifel weil

sie vielen Schwierigkeiten unterworfen ist. Der erste, welcher die eigentliche astronomische Refraction erwähnt, ist Ptolemäus, der davon in seinem Werke über die Optik, welches erst kürzlich in Leyden wieder aufgefunden wurde, umständlich spricht. Ihm folgte der arabische Schriftsteller Alhazen, der um das Jahr 1050 lebte, aber weder er, noch Ptolemäus selbst, noch auch der zweihundert Jahre nach Alhazen lebende Vitellio, deren Schriften über diesen Gegenstand auf uns gekommen sind, haben von irgend einer Bestimmung der wahren Gröfse dieser Refraction für verschiedene Zenithdistanzen oder von der Anwendung derselben bei astronomischen Beobachtungen zu sprechen gewagt. Erst Walther (gest. 1504) und nach ihm Möstlin (gest. 1590), der Lehrer des grofsen Keppler, machten wenigstens darauf aufmerksam, dafs man bei den astronomischen Beobachtungen auf die Refraction Rücksicht nehmen sollte, ohne aber die Weise, auf welche dieses zu thun ist, näher anzugeben. Tycho de Brahe (gest. 1601), der gröfste Beobachter seiner und vielleicht aller vorhergegangenen Zeit, versuchte zuerst die Wirkung dieser Refraction in eine Tafel zu bringen, die für jede beobachtete Höhe die Refraction angab, welche abgezogen werden sollte, um die beobachtete auf die wahre Höhe zurückzubringen. Allein diese Tafel war noch äufserst unvollkommen, da sie blofs auf unmittelbare Beobachtungen gegründet war, die überdiefs zu diesem Zwecke nicht genau genug waren, und da ihm das Gesetz, nach welchem diese Erscheinung sich richtet, selbst im Allgemeinen noch ganz unbekannt war. Er fand auf diese Weise für die Höhen von 45°, 11° und 0° in derselben Ordnung 0, 9 und 30 Minuten, da sie doch 0, 9; 4, 8 und 38 Min. beträgt. Ueberdiefs glaubte er durch seine Beobachtungen gefunden zu haben, dafs die Refraction für die Sonne eine ganz andere sey, als für die Fixsterne, und dafs die erste bei der Höhe von 45, die zweite aber schon bei der Höhe von 20 Graden ganz aufhöre. Keppler erkannte diesen Irrthum und zeigte[1], dafs die Entfernung der Himmelskörper von der Erde auf die Refraction keinen Einflufs haben könne und dafs daher die Sonne, der Mond und alle Fixsterne auf gleiche Art von ihr afficirt werden müssen. Allein in seinen

1 Paralipomena ad Vitellionem.

Bemühungen, diesen interessanten Gegenstand ins Reine zu bringen, ging er von der Voraussetzung aus, dafs unsere Atmosphäre in allen Höhen über der Erde dieselbe Dichtigkeit haben müsse. Dieser Fehler allein hinderte ihn, eine wahre Theorie dieses Phänomens aufzustellen, wenn auch das Gesetz der Brechung der Lichtstrahlen, die dieser Theorie zum Grunde liegen mufste, ihm schon bekannt gewesen wäre. Was nach ihm Riccioli that, um diesen Gegenstand zu fördern, ist ohne Werth, da er hier, wie in so vielen andern Dingen, nur seinem Lehrer Tycho nachbetete.

Der berühmte Dominic Cassini (gest. 1712) versuchte es, aus seinen eigenen Beobachtungen eine Tafel der Refraction zu construiren, welcher er eine Art von Theorie zum Grunde legte. Er nahm nämlich an, dafs die Dichte der Atmosphäre von der Erde bis zu der Höhe von 2000 Toisen über ihrer Oberfläche constant und dafs diese Dichte in gröfsern Höhen plötzlich so gering werde, dafs sie auf die Refraction keinen merkbaren Einfluſs mehr ausüben könne. Diese Hypothese, die späterhin von den Physikern lange mifsverstanden wurde und sie auf falsche Resultate über die Beschaffenheit der Atmosphäre geführt hat, diente ihm blofs, die Rechnungen für diejenigen Höhen, die er nicht unmittelbar beobachtet hatte, zu vereinfachen, indem er nämlich, seiner Voraussetzung gemäfs, annehmen konnte, dafs der von der Luft gebrochene Strahl eine gerade Linie sey. Es folgte daraus unmittelbar, dafs die Refraction dem Sinus der beobachteten Zenithdistanz proportional sey, was fehlerhaft ist, da sie der Tangente dieses Winkels proportional ist. Obschon diese Hypothese irrig ist, so fiel doch seine Tafel sehr befriedigend aus und die Astronomen bedienten sich derselben lange Zeit als der verläfslichsten, die man hatte. Bouguer's Beobachtungen in Peru zeigten übrigens bald darauf die Unzulässigkeit dieser Hypothese, da er die Refractionen auf dem Chimboraço, 6530 Meter über dem Meere, durchaus beträchtlich kleiner fand, als an der Oberfläche des Oceans.

Auch Lacaille (gest. 1762) versuchte noch denselben empirischen Weg, die Refraction durch blofse Beobachtungen festzusetzen, obgleich er sich bei diesen Bestimmungen auch durch theoretische Rücksichten leiten liefs. Was er über die-

Digitized by Google

sen und so viele andere Gegenstände der Astronomie gearbeitet hat, ist selbst in unsern Tagen noch interessant und lehrreich. Er entwickelte bei diesen Untersuchungen, die ihn mehrere Jahre beschäftigten, seinen ganzen Scharfsinn und die seltne Beharrlichkeit, die ihn vor vielen andern auszeichnete. Er benutzte dazu vorzüglich diejenigen Beobachtungen, die er am Cap der guten Hoffnung gemacht hatte, wo er mehrere derjenigen Sterne, die zu Paris nahe über dem Horizonte culminirten, in seinem Zenith sehn konnte[1]. Seine Refractionstafeln verdrängten die des Cassini und wurden wenigstens in Frankreich allen andern, selbst spätern und bessern, weit vorgezogen.

An eine eigentliche Theorie der Refraction konnte nicht gedacht werden, so lange das Gesetz der Brechung der Lichtstrahlen nicht bekannt war. Snellius fand dasselbe gegen das Jahr 1620. Nach diesem Gesetze ist bekanntlich das Verhältnifs des Sinus des Einfallswinkels zu dem Sinus des gebrochnen Winkels für jeden brechenden homogenen Körper eine constante Gröfse[2]. Allein dieses Gesetz, welches sich später Descartes zueignete, blieb lange unbekannt und selbst, als es bekannt wurde, unangewendet.

Der grofse Newton brach auch hier die Bahn. Die erste Ausgabe seiner Principien erschien im Jahre 1687 und in denselben zeigte er durch Analyse, dafs die Refraction eine Wirkung der Attraction sey, welche die Elemente der Atmosphäre auf jene des Lichts ausüben. Indem er von dieser Voraussetzung ausging, berechnete er die Brechung des Lichtstrahls in den beiden Endpuncten unserer Atmosphäre und die Differenz dieser Brechungen gab ihm den wahren Werth der gesuchten Refraction. Aber die grofsen Schätze, welche dieses unsterbliche Werk enthielt, blieben lange unbekannt, da dasselbe seines kurzen und rein synthetischen Vortrags wegen nur wenigen, nur den talentvollsten Lesern zugänglich war.

Erst sechzig Jahre nach der Erscheinung der Principien wurden sie von Simpson benutzt, um auf die von Newton gegebene Theorie, verbunden mit verläfslichen Beobachtun-

1 Man findet den gröfsten Theil seiner Untersuchungen in den Pariser Memoiren von 1751 bis 1755.

2 S. *Brechung*. Th. I. S. 1130.

gen, einen analytischen Ausdruck der Refraction für alle Grade der Höhe zu gründen. Im Jahre 1760 gab BRADLEY eine andere Formel, die im Grunde dieselbe mit jener von SIMPSON ist, deren Constanten aber von BRADLEY genauer bestimmt wurden. Nach dieser Bradley'schen Formel sollten sich die Tangenten der dreifachen Refraction verhalten, wie die Tangenten der beobachteten, um die dreifache Refraction verminderten Zenithdistanzen, oder wenn r die Refraction für die beobachtete Zenithdistanz z ist, so sollte man haben

$$\text{Tang.}\,3r = 0{,}000851\ \text{Tang.}\,(z - 3r).$$

Diese Formel wurde bis zu Ende des vorigen Jahrhunderts allgemein angenommen, obschon man an ihren beiden Coefficienten 3 oder 0,000851 verschiedene geringe Aenderungen anzubringen suchte. Die danach construirten Refractionstafeln galten in ganz Europa für die besten und in der That lassen sich auch dadurch die Beobachtungen, wenigstens bis auf eine Höhe von fünf oder sechs Graden, sehr befriedigend darstellen. Nicht so die kleinern Höhen, die überhaupt vielen und grofsen Schwierigkeiten unterworfen sind. Diese Formel läfst sich annähernd in die folgende einfache umändern

$$r = 60'',7\ \text{Tang.}\,z,$$

durch die man die Höhen über 15 Grade noch sehr genau darstellen kann.

Uebrigens läfst sich der Ausdruck von BRADLEY aus der bloſsen Voraussetzung des von SNELLIUS entdeckten Gesetzes, auch ohne die tiefere Theorie NEWTON's, durch einige höchst einfache geometrische Betrachtungen finden, und sie ist daher weit entfernt, die wahre Refraction theoretisch genau darzustellen, obschon sie mit den Beobachtungen so weit übereinstimmt, als es die gewöhnlichen Bedürfnisse der Wissenschaft erfordern.

Wir haben in der zweiten Hälfte des verflossenen Jahrhunderts eine grofse Anzahl Refractionstafeln erhalten, die alle nach BRADLEY's Formel, nur mit verschiedenen Constanten, berechnet worden sind. Eine solche ist z. B. diejenige, welche LALANDE in seiner Astronomie bekannt gemacht hat und die auch in die Berliner Sammlung astronomischer Tafeln[1] aufgenommen worden ist. Die am meisten gebrauchte

1 Daselbst Th. III. S. 228 ff.

Digitized by Google

dieser Tafeln ist die von Maskelyne[1]. Alle diese Tafeln sind nach der Bradley'schen Formel berechnet, an welcher die praktischen Astronomen nichts zu ändern wagten, als die beiden Constanten derselben und diejenigen Correctionen, welche vom Stande des Barometers und Thermometers kommen und von welchen wir später reden werden.

Uebrigens fehlte es nicht an theoretischen Speculationen über diesen Gegenstand. Die vorzüglichsten Geometer des vorigen Jahrhunderts suchten Newton's Winke zu benutzen und auf dieser Grundlage weiter zu bauen. Auf die ausübende Astronomie aber hatten diese Untersuchungen keinen Einfluss, bis am Ende des ersten Jahrzehends das gegenwärtigen Jahrhunderts, wo Refractionstafeln nach verbesserten, aber oft auch sehr complicirten analytischen Ausdrücken entstanden, welche endlich nicht ohne Mühe die blofs approximirten Formeln von Simpson und Bradley verdrängten.

Wir nennen hier nur einige der vorzüglichsten dieser rein theoretischen Untersuchungen, von denen mehrere die Absicht hatten, die krumme Linie zu finden, welche der Lichtstrahl während seines Gangs durch die Atmosphäre beschreibt, eine Absicht, die sich mit den gegenwärtigen Kräften unserer Analysis in ihrer ganzen Strenge nicht erreichen läfst und die auch für die Ausübung entbehrlich ist, da die Refraction nicht von der Kenntnifs aller Elemente dieser Curve, sondern nur von der der Lage der beiden Tangenten von den zwei äufsersten Elementen dieser Curve abhängig ist. Bouguer war der erste, der diese Curve, die er *Solaire* nannte, in einer Preisschrift vom Jahre 1729 zu bestimmen suchte. Der bekannte Taylor gab seine geometrischen Untersuchungen dieses Gegenstands in seiner *Method. incrementor.*; Daniel Bernoulli in seiner *Hydrodynamica* 1738; *Du Séjour* in seinem Traité analyt. des mouv. célestes S. 657 u. f.; Lambert in seinen proprietés de la route de la lumière. Haag 1759; Tobias Mayer theilte seine Untersuchungen in seinen Mondtafeln mit, die im Jahre 1770 erschienen, und auch Boscovich, der sogar einen Newton zu belehren und mit den Strahlen seines eignen Ruhmes zu verfinstern suchte, wollte

1 Philos. Trans. 1764. u. 1787.

nicht zurückbleiben und trat mit seinen Untersuchungen auf, die man im zweiten Bande seiner sämmtlichen Werke findet.

Der erste aber, der die wahre Differentialgleichung der Refraction gehörig aufstellte, war L. Euler, der in den Mém. de Berlin f. 1754 seine Untersuchungen über diesen Gegenstand mittheilte und auf dessen hier gegebene Resultate alle bessere Arbeiten seiner Nachfolger als auf eine feste und fortan nicht mehr zu ändernde Basis errichtet wurden. Zu diesen gehört, als in der Zeit die erste, die schöne Arbeit von Lagrange in den Nouv. Mém. de Berlin. 1772. S. 259. und nach ihr vorzüglich die Bearbeitung dieses Gegenstands von Laplace im vierten Theile seiner Mécanique céleste Auf die Gestalt, welche hier Laplace dem analytischen Ausdrucke der Refraction gegeben hat, gründen sich die Untersuchungen, die Carlini in Mailand, Plana in Turin, Kramp, Schmidt, Ivory und mehrere andere vorgenommen haben. Man findet die Resultate derselben in den Effemeridi di Milano, wo auch früher Oriani seine Theorie der Refraction mittheilte, in den Mem. of the astron. Society, in den Annalen der Wiener Sternwarte, in Plana's Observ. astronomiques. Turin 1828, in v. Zach's Correspondance astronomique u. f. Die beste und umfassendste Bearbeitung dieses Gegenstands endlich ist die von Bessel, in seinen *Fundam. astronomiae*, zu welcher er später in seinen astronomischen Beobachtungen mehrere Nachträge geliefert hat.

2) Theoretische Darstellung der Refraction.

Nach dieser geschichtlichen Einleitung unsers Gegenstands wollen wir nun auch das Wesentlichste der Theorie desselben mittheilen. Wenn man die unsere Erde umgebende Atmosphäre, wie es am wahrscheinlichsten ist, als aus concentrischen Schichten bestehend annimmt, deren Dichte nach einem gewissen Gesetze veränderlich ist, so wird ein Lichtstrahl, wenn er einer dieser Schichten sehr nahe kommt, von derselben in einer Richtung angezogen werden, welche auf die Oberfläche dieser Schicht in dem Puncte, in welchem das Licht der Schicht begegnet, normal ist. Diese Voraussetzung, die bei der Berechnung aller Molecularkräfte angewendet wird, folgt unmittelbar aus der Annahme, dafs die Anziehung der Elemente der Körper auf einander nur in sehr kleinen Entfer-

Digitized by Google

nungen von ihren Oberflächen wirksam sey und in gröfsern völlig verschwinde. Sind daher x und y die senkrechten Coordinaten eines Lichtpuncts von dem nächsten Puncte der atmosphärischen Schicht und nimmt man die Axe der x parallel mit der die Schicht im Einfallspuncte berührenden Ebene und die Ebene der xy als diejenige an, welche durch die Normale der Schichten im Berührungspuncte und durch die Richtung des Lichtstrahls geht, so hat man nach den ersten Gründen der Dynamik folgende zwei Gleichungen

$$\frac{d^2x}{dt^2} = 0 \text{ und } \frac{d^2y}{dt^2} = P,$$

wo P die Kraft bezeichnet, mit welcher das Licht in der Richtung der y von der Schicht angezogen wird und wo dt das Element der Zeit ist.

Aus diesen beiden Gleichungen erhält man durch eine einfache Reduction die folgende:

$$\frac{dx^2 + dy^2}{dt^2} = 2\int P\,dy + \text{Const.}$$

Da aber $\frac{1}{dt} \cdot \sqrt{dx^2 + dy^2}$ der allgemeine Ausdruck der Geschwindigkeit ist, so bezeichnet die Constante dieser Integration offenbar die anfängliche Geschwindigkeit des Lichts, d. h. diejenige, welche das Licht hatte, ehe noch die Anziehung der Luftschicht auf dasselbe wirksam war, oder für welche $t = 0$ war. Nennt man also c diese anfängliche Geschwindigkeit des Lichts und v die Geschwindigkeit desselben in irgend einem Puncte der Atmosphäre, so geht die letzte Gleichung in folgende über

$$v^2 = c^2 + 2\int P\,dy.$$

Das Integral $\int P\,dy$ wird irgend eine Function der Dichtigkeit ϱ der Atmosphäre seyn, daher wir dieses Integral durch $2\varkappa\varrho$ derstellen wollen, wo $\varkappa$ ein noch zu bestimmender Factor ist. Es wird sich weiter unten, wenn die erhaltene Refractionsformel durch unmittelbare Beobachtungen mit der Natur verglichen wird, zeigen, ob diese einfache Annahme $\int P\,dy = 2\varkappa\varrho$ hinlänglich ist, die Erscheinungen der Natur genau darzustellen. Dem gemäfs wird daher unsere vorhergehende Gleichung

$$v^2 = c^2 + 4\varkappa\varrho.$$

Ist nun u das Loth aus dem Mittelpuncte der Erde auf die Tangente der Curve, welche der Lichtpunct in der Atmosphäre beschreibt, so hat man, da sich, einem bekannten Gesetze der Dynamik zufolge, bei allen Bewegungen durch Centralkräfte die Geschwindigkeiten verkehrt, wie die Lothe aus dem Centralpuncte auf die Tangenten verhalten,

$$u = \frac{A}{v} \text{ oder } u = \frac{A}{\sqrt{c^2 + 4x\varrho}},$$

wo A eine Constante bezeichnet.

Nennt man nun $1 + x$ die Entfernung des Puncts der Curve vom Mittelpuncte der Erde, so ist bekanntlich der Krümmungshalbmesser dieser Curve in dem erwähnten Puncte gleich $\frac{(1+x)dx}{du}$. Der Winkel dr aber, welchen zwei nächste Tangenten dieser Curve unter einander bilden, oder der sogenannte Winkel der Contingenz ist gleich

$$dr = \frac{du}{\sqrt{(1+x)^2 - u^2}}$$

und dieser Ausdruck von dr ist zugleich das Differential der Refraction r, da diese Refraction nach dem Vorhergehenden die Neigung der zwei äufsersten Tangenten der Curve ist, welche der Lichtpunct in der Atmosphäre beschreibt. Um diesen Ausdruck von dr von der Gröfse u unabhängig zu machen, sey z die scheinbare oder beobachtete Zenithdistanz des Sterns und der Halbmesser der Erde der Einheit gleich, so ist, wenn der Lichtstrahl die Erde berührt, $u' = \text{Sin. } z$ und zugleich, wenn auch die Dichte der Atmosphäre an der Oberfläche der Erde der Einheit der Dichtigkeiten gleich gesetzt wird,

$$u' = \frac{A}{\sqrt{c^2 + 4x}}.$$

Setzt man beide Werthe von u' einander gleich, so hat man $A = \text{Sin. } z . \sqrt{c^2 + 4x}$ und daher auch

$$u = \text{Sin. } z . \frac{\sqrt{c^2 + 4x^2}}{\sqrt{c^2 + 4x\varrho}} \text{ und } du = -\frac{2x\,u\,d\varrho}{c^2 + 4x\varrho}.$$

Substituirt man diese Werthe von u und du in den vorhergehenden Ausdrücken von dr, so erhält man, wenn man der Kürze wegen $\frac{1}{1+x} = 1 - s$ und $\frac{2x}{c^2+4x} = \alpha$ setzt, nach einigen einfachen Reductionen

Digitized by Google

$$dr = \frac{-\alpha d\varrho (1-s)\,\mathrm{Sin.}\,z}{(1-2\alpha+2\alpha\varrho)\sqrt{1-2\alpha+2\alpha\varrho-(1-s)^2\,\mathrm{Sin.}^2.z}}.$$

Da aber die Gröfse α, wie wir bald sehn werden, eine gegen die Einheit sehr kleiner Bruch ist, so ist von dem Ausdrucke $(1-2\alpha+2\alpha\varrho)$ der gröfste Werth gleich 1 für $\varrho=1$ und ebenso der kleinste Werth gleich $1-2\alpha$ für $\varrho=0$. Man wird daher statt dieser Gröfse $(1-2\alpha+2\alpha\varrho)$ ohne merkbaren Fehler das arithmetische Mittel ihrer beiden Grenzen oder die Gröfse $(1-\alpha)$ setzen können. Da endlich auch s gegen die Einheit sehr klein ist, so wird man die Gröfse s^2 und das Product αs vernachlässigen können und daher statt der vorhergehenden Gleichung die folgende erhalten

$$dr = \frac{-\frac{\alpha}{1-\alpha}\,d\varrho\,.\,\mathrm{Sin.}\,z}{\sqrt{1-2\alpha+2\alpha\varrho-(1-2s)\,\mathrm{Sin.}^2 z}}$$

oder, was dasselbe ist,

$$dr = \frac{-\frac{\alpha}{1-\alpha}\,d\varrho\,.\,\mathrm{Sin.}\,z}{\sqrt{2s-2\alpha(1-\varrho)+(1-2s)\,\mathrm{Cos.}^2 z}}$$

und dieses ist der wahre Differentialausdruck für die Refraction r, die, wie wir bereits oben gesagt haben, Euler zuerst aufgestellt hat.

Alles kommt nun noch darauf an, diesen Ausdruck zu integriren. Da aber drei veränderliche Gröfsen r, ϱ und s in ihm vorkommen, so mufs vor allem die Abhängigkeit der beiden letzten von einander bekannt seyn, d. h. man mufs das Gesetz kennen, nach welchem die Dichtigkeit ϱ der Luft für verschiedene Höhen s von der Oberfläche der Erde an sich ändert. Allein dieses Gesetz ist uns noch unbekannt.

Es bleibt daher nichts übrig, als irgend eine Hypothese über dieses Gesetz aufzustellen und dann zuzusehn, ob die Beobachtungen mit dieser Hypothese übereinstimmen oder nicht, in welchem letztern Falle sie als unrichtig wieder verworfen werden müfste. Am sichersten wäre es, für s einen Ausdruck von folgender Form anzunehmen

$$s = \beta(1-\varrho)+\gamma(1-\varrho)^2+\delta(1-\varrho)^3+..,$$

da offenbar s mit x zugleich verschwinden mufs und da für $s=0$ an der Oberfläche der Erde $\varrho=1$ oder $1-\varrho=0$ würde. Allein dieser Ausdruck von s wird, da er mehrere

Digitized by Google

Glieder enthält, die Integration unserer Gleichung weitläufig und beschwerlich machen. Sehn wir daher zu, ob man nicht schon mit dem ersten Gliede dieses Ausdrucks die Refraction den Beobachtungen gemäfs darstellen kann. Setzt man also $s = \beta(1-\varrho)$, wo β irgend eine, später zu bestimmende Constante bezeichnet, so wird unser vorhergehender Ausdruck von dr die Gestalt annehmen

$$dr = \frac{-\frac{\alpha\, d\varrho}{1-\alpha} \cdot \text{Sin. } z}{\sqrt{\text{Cos.}^2 z + (2\beta \text{Sin.}^2 z - 2\alpha)(1-\varrho)}}.$$

Integrirt man diesen Ausdruck, so erhält man

$$r = \text{Const.} + \frac{\frac{\alpha}{1-\alpha}\text{Sin. } z}{\beta \text{Sin.}^2 z - \alpha} \cdot \sqrt{\text{Cos.}^2 z + 2\beta \text{Sin.}^2 z - 2\alpha - (2\beta \text{Sin.}^2 z - 2\alpha)\varrho}.$$

Nimmt man dieses Integral unserer Absicht gemäfs zwischen den beiden Grenzen $\varrho = 0$ und $\varrho = 1$, so erhält man

$$r = \frac{\frac{\alpha}{1-\alpha}\text{Sin. } z}{\beta \text{Sin.}^2 z - \alpha} \cdot (\sqrt{\text{Cos.}^2 z + 2\beta \text{Sin.}^2 z - 2\alpha} - \text{Cos. } z) \text{ oder}$$

$$r = \frac{\frac{2\alpha}{(1-\alpha)\text{Sin. } 1''} \cdot \text{Sin. } z}{\text{Cos. } z + \sqrt{2(\beta-\alpha) + (1-2\beta)\text{Cos.}^2 z}}.$$

Da nach den Beobachtungen α nahe gleich 0,0003 und $\beta = 0{,}002$ ist, so ist $1 - 2\beta = 0{,}996$ oder nahe gleich der Einheit. Wir werden daher im Nenner des letzten Ausdrucks die Gröfse $(1-2\beta)\text{Cos.}^2 z$ um so mehr gleich $\text{Cos.}^2 z$ annehmen können, da für gröfsere Zenithdistanzen z der Einfluſs dieses Gliedes nur sehr klein und für kleinere Zenithdistanzen wieder der Zähler oder die Gröfse $2\alpha \text{Sin. } z$ sehr klein ist. Demnach erhält man für den gesuchten Ausdruck der Refraction die Gleichung

$$r = \frac{\frac{2\alpha}{(1-\alpha)\text{Sin. } 1''} \cdot \text{Sin. } z}{\text{Cos. } z + \sqrt{2(\beta-\alpha) + \text{Cos.}^2 z}} \quad \ldots \text{(I)}.$$

Noch ist die Bestimmung der zwei Constanten α und β übrig. Man könnte sie a priori durch folgende Betrachtungen finden. Die Refraction der Luft ist, wenigstens sehr nahe, unabhängig von der Temperatur derselben und blofs der Dichtigkeit der Luft proportional. Wenn das Licht vom leeren Himmelsraume in die Atmosphäre tritt und wenn diese At-

Digitized by Google

mosphäre die Temperatur 0° Réaumur hat und unter einem Gewichte zusammengepreſst wird, das der Barometerhöhe von 76 Centimeter (28 Zoll 0,9 Par. Lin.) entspricht, so wird der Lichtstrahl von dieser Atmosphäre, den Beobachtungen der Physiker gemäſs, so gebrochen, daſs der Sinus des gebrochnen Winkels sich zu dem des Einfallswinkels wie 1 zu 1,00029433 verhält. Unter diesem Drucke und bei dieser Temperatur der Luft verhält sich nach den Versuchen von Biot und Arago das specifische Gewicht der Luft zu dem des Quecksilbers wie 1 zu 10462 und das des Quecksilbers zu dem des destillirten Wassers wie 13,5975 zu 1, woraus folgt, daſs das specifische Gewicht der Luft sich zu dem des Wassers verhält wie 0,0012997 zu 1. Wenn daher die Atmosphäre durchaus dieselbe Dichte hätte, so würde ihre Höhe über der Erde nahe 28mal 10462 Zoll oder 24411 Par. Fuſs, d. h. also nahe eine deutsche Meile, betragen und das Quecksilber des Barometers würde an allen Orten der Atmosphäre gleichviel, z. B. um einen Zoll fallen, wenn man an diesen Orten um dieselbe Gröſse, z. B. um 1000 Fuſs, höher steigt. Dann würde man nämlich für die Barometerstände von 27, 26, 25 und 24 Zoll in derselben Ordnung die Höhen der Beobachtungsorte über der Erde gleich 872, 1744, 2615 und 3587 Fuſs erhalten. Allein dieses ist den Beobachtungen keineswegs gemäſs. Wenn man sich nämlich nahe 1050 Par. Fuſs über die Meeresfläche erhebt, so sinkt das Barometer von 28 auf 27 Zoll herab, in der Höhe von 1970 Fuſs zeigt es 26 Zoll, in der Höhe von 2930 Fuſs 25 Zoll und in der Höhe von 3930 F. 24 Zoll u. s. w. Aus diesen Zahlen folgt, daſs die Dichte der Luft nicht in allen Höhen dieselbe sein kann. Nach dem bekannten Mariotte'schen Gesetze ist die Dichte der Luft dem Drucke derselben, also den Barometerhöhen selbst, proportional. Demnach müssen diesem Gesetze zufolge die untern Schichten der Luft dichter seyn, als die höhern, da das Gewicht von diesen jene zusammendrückt. Wäre nun die Temperatur der Luft in allen Höhen dieselbe, so würde aus diesem Gesetze folgen, daſs die Dichte der Luft, also auch die Barometerhöhe in einer geometrischen Progression abnimmt, wenn die Differenzen der Höhen über der Erde in einer arithmetischen Progression wachsen. Dieses ist bei den vorerwähnten Höhen für 27, 26, 25 und 24 Zoll des Barometers der

Fall, da die Differenzen dieser Höhen 920, 960 und 1000 F. betragen, wo man jede dieser Zahlen findet, wenn man die nächstvorhergehende durch 1,04 multiplicirt, was bekanntlich die charakteristische Eigenschaft der geometrischen Progression ist. Allein auch dieses ist nicht der Fall der Natur, und wir wissen, dafs es auf hohen Bergen immer viel kälter ist, als in den Ebenen, die in den höhern Gegenden herrschende Kälte wird also die Dichte der obern Luftschichten wieder vermehren und so der Atmosphäre selbst bestimmte Grenzen setzen. Wenn nämlich das Mariotte'sche Gesetz in aller Strenge wahr wäre und wenn die Luft überall dieselbe Temperatur hätte, so würde sie sich, obschon in immer dünnern Schichten, von der Erde aus *ohne Grenzen* in den unendlichen Raum erstrecken.

Die vorhergehenden Betrachtungen geben ein Mittel, eine der beiden Constanten α und β zu bestimmen. Um aber auch die zweite zu erhalten, mufs man das Gesetz kennen, nach welchem die Dichtigkeit der einzelnen Luftschichten mit ihrer Annäherung zur Erde zunimmt. Dieses Gesetz ist aber, wie bereits gesagt, unbekannt, und es hängt gewifs nicht blofs von der Höhe dieser Schichten, sondern auch von der Temperatur derselben ab, die sich vielleicht immerwährend ändert. Nimmt man diese Temperatur der Luft in allen ihren Schichten gleich Null an, so findet man, wie wir so eben gesehn haben, dafs die Dichtigkeit der Luftschichten in einer geometrischen Progression abnimmt, wie die Höhen derselben über der Erde in einer arithmetischen Progression wachsen, und dann findet man durch Rechnung, dafs unter dem erwähnten Drucke der Luft von 76 Centimeter die Refraction am Horizonte 39,91 Minuten betrage. Nimmt man aber an, dafs die Dichtigkeit der Luftschichten in einer arithmetischen Progression abnehme, wie sie sich über die Oberfläche der Erde erheben, und dafs also an ihrer obersten Grenze diese Dichtigkeit gleich Null sey, so findet man für die Horizontalrefraction 30,40 Minuten. Laplace nahm aber an, dafs die wahre Horizontalrefraction, wie sie unmittelbar aus den Beobachtungen folgt, gleich 35,10 Min. betrage. Dieses ist sehr nahe das Mittel aus jenen beiden, und er nahm daher an, dafs die Dichte der Luftschichten mit ihrer Höhe in einer Progression zunehme, die das Mittel zwischen der geometrischen

Digitized by Google

und arithmetischen hält, und bestimmte[1] demnach seinen Ausdruck der Refraction, welcher in der That, wenigstens für gröfsere Höhen, als 3 Grade, mit den Beobachtungen sehr gut übereinstimmt. Da er aber einen andern mehr zusammengesetzten Ausdruck für die Abhängigkeit der beiden Gröfsen s und ϱ angenommen hat, so mufste er auch zu einem andern Ausdrucke für r gelangen. Nach den Reductionen, die CARLINI damit vorgenommen hat, ist dieser Ausdruck der Refraction r nach LA PLACE folgender, wo log. nat. $\varepsilon = 1$ ist,

$$r = 1624'' \text{ Sin. } z\ [(2 - a - 2a\Theta^2)\psi + a\Theta],$$

wo $a = 0{,}7175935$; $\Theta = 28$ Cos. z und $\psi = \varepsilon^{\Theta^2} \cdot \int \varepsilon^{-t^2} dt$, das letzte Integral von $t = \Theta$ bis $t = \infty$ genommen.

Um den Werth von ψ für jeden Werth von Θ zu kennen, hat man

$$\psi = \frac{1}{2\Theta}\left[1 - \frac{1}{2\Theta^2} + \frac{1.3}{2^2\Theta^4} - \frac{1.3.5}{2^3\Theta^6} + \frac{1.3.5.7}{2^4\Theta^8} - ..\right]$$

oder für den Fall, dafs Θ kleiner als die Einheit ist,

$$\psi = \tfrac{1}{2}\sqrt{\pi} \cdot \varepsilon^{\Theta^2} - \Theta\left[1 + \frac{2\Theta^2}{1.3} + \frac{2^2\Theta^4}{1.3.5} + \frac{2^3\Theta^6}{1.3.5.7} + ..\right],$$

wo π die bekannte Ludolph'sche Zahl 3,14159.. ist. Wenn endlich die Zenithdistanz z gröfser als 78° ist, so mufs zu jedem Ausdrucke von r noch die Gröfse

$$(-14'',093 \text{ Sin. } z\ [(1 + 2\Theta^2)\ \psi - \Theta]) . (t - 10)$$

hinzugesetzt werden, wo t die Höhe des Reaumur'schen Thermometers bezeichnet.

Nach diesen Formeln findet man die von CARLINI entwickelte Refractionstafel in den letzten Jahrgängen der Effemeridi di Milano, woraus sie in viele andere astronomische Werke übergegangen und auch in Deutschland sehr bekannt geworden ist.

Allein es möchte vielleicht sicherer und zugleich zur Berechnung bequemer seyn, die beiden Constanten α und β der Gleichung (I) unmittelbar durch Beobachtungen zu bestimmen. Nimmt man mit grofser Wahrscheinlichkeit an, dafs die Refractionstafel, die BESSEL[2] gegeben hat, mit den bereits oben erwähnten Verbesserungen, die er selbst daran ange-

---

1 Mécanique céleste. T. IV.

2 S. *Fundamenta astronomiae.*

bracht hat, die Beobachtungen besser, als alle andere bisher bekannten Tafeln darstelle, so könnte man zwei Refractionen aus diesen Tafeln nehmen und zusehn, ob sich dadurch jene Constanten α und β so ergeben, dafs dann die Gleichung (I) auch alle übrigen Refractionen dieser Tafel darstellt. Thut man dieses für $z = 30^\circ$ und $z = 84^\circ$, so findet man, wenn man diese Refractionen aus jener Tafel in die Gleichung (I) substituirt und dann die Werthe der beiden Gröfsen α und β sucht,

$$\alpha = 0{,}00029128 \text{ und } \beta = 0{,}00229128$$

wodurch daher die Gleichung (I) in folgende übergeht

$$r = \frac{120'',2 \text{ Sin. } z}{\text{Cos. } z + \sqrt{0{,}004 + \text{Cos.}^2 z}} \quad . \quad . \quad . \quad (I')$$

und dieser einfache Ausdruck stellt in der That die Refractionen der Bessel'schen Tafel von $z = 0$ bis $z = 85^\circ$ genau dar, was um so überraschender erscheint, da der analytische Ausdruck, der in den Fundamentis astron. für die Refraction aufgestellt wird, seine Vorzüglichkeit vor allen andern *nicht* zu erwähnen, doch noch viel weitläufiger und complicirter ist, als selbst der oben nach Laplace mitgetheilte. Man kann übrigens den vorhergehenden Ausdruck (I') zur Rechnung noch bequemer machen, wenn man eine Hülfsgröfse φ so einführt, dafs man hat Tang. $\varphi = \frac{\sqrt{0{,}004}}{\text{Cos. } z}$, denn alsdann ist:

$$r = \frac{120'',2}{\sqrt{0{,}004}} \text{. Sin. } z \text{. Tang. } \tfrac{1}{2}\varphi \quad . \quad . \quad (I'').$$

Da dieser einfache Ausdruck die Refraction von Bessel, die jetzt allgemein als die beste anerkannt wird, von $z = 0$ bis $z = 85^\circ$ so genau darstellt, so möchte es interessant seyn, die kleinen Modificationen zu kennen, welche man an der Gleichung (I) anzubringen hat, um diese Uebereinstimmung beider Ausdrücke noch beträchtlich weiter zu treiben. Die Gleichung (I) hat die Gestalt

$$r = \frac{A\,B \text{ Sin. } z}{\text{Cos. } z + \sqrt{A^2 + \text{Cos.}^2 z}},$$

wo A und B constante Gröfsen sind und zwar B die Horizontalrefraction für $z = 90^\circ$ bezeichnet, die in den Königsberger Tafeln gleich $B = 2166'',8$ angenommen wird. Zu unserm Zwecke wird es hinreichen, die Gröfse A nicht mehr

genau constant, sondern nach irgend einem hier näher zu bestimmenden Gesetze mit den wachsenden Zenithdistanzen langsam abnehmen zu lassen. Ist z. B. r die mittlere Refraction der Königsberger Tafeln und setzt man

$$A = a + b\,r + c\,r^2 + d\,r^3 + \ldots\ldots,$$

so werden sich die Gröfsen a, b, c, d aus jenen Tafeln leicht bestimmen lassen. Für kleine Zenithdistanzen, wo man die Gröfsen b, c und d vernachlässigen kann, findet man auf diese Weise $a = 0{,}05325$. Legt man dann die Zenithdistanzen $z = 77°$, 85° und 89° zum Grunde, so findet man

$$b = -0{,}000000\ 60173$$
$$c = -0{,}000000\ 007138$$
$$d = -0{,}000000\ 000002412.$$

Man hat daher für den gesuchten Werth von

$$A = -0{,}05325 - (0{,}7794017 - 7)\,r - (0{,}8535765 - 9)\,r^2 + (0{,}3823773 - 12)\,r^3,$$

wo die eingeklammerten Factoren von r, r^2, r^3.. schon Logarithmen sind. Mit diesem Werthe von A findet man dann die Refraction r durch die folgenden Gleichungen:

$$\text{Tang.}\,\varphi = \frac{A}{\text{Cos. z}}\,;\quad r = 2166'',8\ \text{Sin. z . Tang.}\,\tfrac{1}{2}\varphi.$$

Die folgende kleine Tafel ist nach den letzten drei Gleichungen berechnet worden:

z	Refraction	Differenz mit den Königsb. Tafeln.
5°	5″,04	0″,00
10	10,16	0,01
20	20,97	0,02
30	33,26	0,04
40	48,30	0,04
50	68,54	0,06
60	99,41	0,07
70	156,90	0,15
80	315,10	0,03
81	348,13	0,01
83	438,25	0,02
85	584,57	0,04
87	855,11	0,86
89	1478,16	0,04

Es ist daher wahrscheinlich, dafs man durch die Annahme $A = a + b\,\text{Tang.}\,z + c\,\text{Tang.}^3 z + d\,\text{Tang.}^4 z + \ldots$ zu demselben Ziele gelangen wird und dafs man durch irgend eine einfache Modification der oben angenommenen Gleichung $s = \beta(1-\varrho)$ auch die directe Auflösung der Aufgabe dahin bringen wird, jene Tafeln, deren Vortrefflichkeit einmal allgemein anerkannt worden ist, auch ohne die complicirten Formeln, die ihnen ursprünglich zum Grunde liegen, darzustellen.

Hier mufs, zur Ergänzung des Vorhergehenden, noch bemerkt werden, dafs die folgende Annahme der Abhängigkeit der Gröfsen s und ϱ, so wenig einfach sie auch scheint, doch zu einer sehr leichten Integration und zugleich zu einem sehr annehmbaren Resultate für r führt. Setzt man nämlich

$$1 - s = [1 - 2\alpha(1-\varrho)]^m,$$

wo m eine willkürliche Constante bezeichnet, so sey der Kürze wegen

$$\psi = [1 - 2\alpha(1-\varrho)]^{\frac{2m-1}{2}} \cdot \text{Sin.}\, z.$$

Dadurch geht unsere vorhergehende Differentialgleichung für d r sofort in folgende sehr einfache über:

$$dr = \frac{-d\psi}{(2m-1)\sqrt{1-\psi^2}}$$

und dieser Ausdruck von $\varrho = 0$ bis $\varrho = 1$, das heifst, von $\psi = \text{Sin.}\, z$ bis $\psi = (1-2\alpha)^{\frac{2m-1}{2}}\,\text{Sin.}\, z$ integrirt giebt sofort

$$r = \frac{1}{2m-1}\left(z - \text{Arc. Sin.}\,[(1-2\alpha)^{\frac{2m-1}{2}} \cdot \text{Sin.}\, z]\right) \text{ oder}$$

$$\text{Sin.}\,[z - (2m-1)r] = (1-2\alpha)^{\frac{2m-1}{2}} \cdot \text{Sin.}\, z,$$

wofür man, ohne der Allgemeinheit des Ausdruckes zu schaden, kürzer setzen kann

$$M\,\text{Sin.}\, z = \text{Sin.}\,(z - Nr) \quad \ldots \quad (II)$$

wo M und N constante Gröfsen bezeichnen. Diese Gleichung (II) ist der bereits oben erwähnte, von Simpson auf ganz andern Wegen gefundene Ausdruck der Refraction.

Digitized by Google

Setzt man diese Gleichung in der Gestalt einer Proportion

$$\text{Sin. z} : \text{Sin.}(\text{z} - \text{N r}) = 1 : \text{M},$$

so ist auch

$$\text{Sin. z} + \text{Sin.}(\text{z} - \text{N r}) : \text{Sin. z} - \text{Sin.}(\text{z} - \text{N r}) = 1 + \text{M} : 1 - \text{M}$$

oder

$$\text{Tang.}\tfrac{1}{2}\,\text{N r} = \frac{1-\text{M}}{1+\text{M}} \cdot \text{Tang.}(\text{z} - \tfrac{1}{2}\text{N r}) \quad \ldots \quad \text{(III)}$$

und dieses ist die ebenfalls schon angeführte Gestalt, unter welcher Bradley die Refraction gefunden hat.

Es mufs aber noch bemerkt werden, dafs sich auch der obige Ausdruck (I) unsrer Gleichung durch eine leichte Modification auf die Gleichungen (II) oder (III) zurückführen läfst. Die Gleichung (II) giebt nämlich

$$\text{M Sin. z} = \text{Sin. z Cos. N r} - \text{Cos. z Sin. N r}.$$

Setzt man hierin

$$\text{Sin. N r} = \text{N r Sin. } 1'' \text{ und Cos. N r} = 1 - \tfrac{1}{2}\text{N}^2\text{r}^2 \text{. Sin.}^2 1'',$$

so erhält man für r eine quadratische Gleichung und daraus

$$\text{N r Sin. } 1'' = \frac{-\text{Cos. z} + \sqrt{2(1-\text{M})\ \text{Sin.}^2\text{z} + \text{Cos.}^2\text{z}}}{\text{Sin. z}}$$

oder, wenn man diesen Ausdruck durch

$$\text{Cos. z} + \sqrt{2(1-\text{M})\ \text{Sin.}^2\text{z} + \text{Cos.}^2\text{z}}$$

multiplicirt und dividirt,

$$\text{r} = \frac{\dfrac{2(1-\text{M})\ \text{Sin. z}}{\text{N Sin. } 1''}}{\text{Cos. z} + \sqrt{2(1-\text{M})\,\text{Sin.}^2\text{z} + \text{Cos.}^2\text{z}}}$$

oder, da M nahe gleich der Einheit ist, annähernd, wie zuvor,

$$\text{r} = \frac{\dfrac{2(1-\text{M})\ \text{Sin. z}}{\text{N Sin. } 1''}}{\text{Cos. z} + \sqrt{2(1-\text{M}) + \text{Cos.}^2\text{z}}},$$

welches wieder die Form unserer Gleichung (I) ist. Setzt man übereinstimmend mit den oben gefundenen Coefficienten

$$\frac{2(1-\text{M})}{\text{N Sin. } 1''} = 120'',2 \text{ und } 2(1-\text{M}) = 0{,}004,$$

so findet man

$$\text{M} = 0{,}998 \text{ und } \text{N} = 6{,}86405.$$

3) Correction der mittleren Refraction nach dem Barometer und Thermometer.

Alles Vorhergehende betrifft nur die sogenannte *mittlere* Refraction oder diejenige, welche für einen bestimmten, gegebenen Zustand der Atmosphäre statt hat. Da aber die Dichtigkeit der Luft die einzige Ursache der Refraction ist, so mufs die letzte sich ändern, wenn die erste eine Aenderung erleidet. Diese Dichtigkeit wird kleiner werden, wenn das Gewicht der obern Schichten, welches auf den untern lastet, kleiner wird, und die Gröfse dieses Gewichts messen wir bekanntlich durch das *Barometer*. Diese Dichtigkeit der Luft wird aber auch dann noch abnehmen, wenn sie durch die Wirkung einer höhern Temperatur mehr ausgedehnt wird, und die Temperatur der Luft pflegen wir durch das *Thermometer* zu messen. Die wahre Refraction wird daher von der mittlern so oft verschieden seyn, als die Dichtigkeit der Luft aus jenen beiden Ursachen sich ändert, oder die mittlere Refraction wird, um in die wahre überzugehn, zwei Correctionen erhalten müssen, von welchen die eine von dem gegenwärtigen Stande des Barometers und die andere von dem des Thermometers abhängt. Schon Tycho glaubte solche Aenderungen zu bemerken, er war aber der Sache noch nicht gewifs. Dom. Cassini und Picard schlossen aus ihren eignen Beobachtungen, die sie in Paris angestellt hatten, dafs die Refractionen im Winter gröfser als im Sommer sind, allein sie wagten es noch nicht, eine Correction derselben, die vom Thermometer abhinge, aufzustellen; von einer zweiten, durch das Barometer gegebenen Verbesserung schienen sie noch keine Idee zu haben. Halley war der erste, der diese beiden Correctionen deutlich erkannte und sie in die praktische Astronomie einführte. Euler, der diesen Gegenstand eigens theoretisch untersuchte[1], konnte Halley's Idee nur beitreten. Halley verglich die Beobachtungen des Sirius v. J. 1714 und fand für die mittägliche Höhe dieses Sterns im Winter eine um 8″ verschiedene Refraction, selbst dann noch, als er die Wirkung der Temperatur schon davon abgezogen hatte. Er überzeugte sich, dafs diese Differenz von 8″ von dem

1 Mém. de Berlin. 1754.

Stande des Barometers zu verschiedenen Zeiten des Jahres abhängt. In der That, das Barometer, dessen mittlerer Stand 28 Zoll ist, variirt meistens nur zwischen den Grenzen von 27 bis 29 Zoll, so dafs die ganze Variation desselben 2 Zoll oder den 14ten Theil seines mittlern Standes beträgt. Allein die Refraction für die mittägige Höhe des Sirius beträgt $1' 55''$ oder $115''$ und davon sind jene 8 Secunden ebenfalls der 14te Theil. Le Monnier war einer der ersten, welcher die von Halley aufgestellten zwei Correctionen durch seine eigenen Beobachtungen näher bestimmen wollte, wie man in der von ihm herausgegebenen Histoire céleste, Paris 1741, sehn kann. Er schlug zu diesem Zwecke vorzüglich die Amplituden[1] der Gestirne vor und behauptete, dafs die Differenz derselben bei α Lyrae in Paris bis auf 29 Minuten gehn könne. Cagnoli aber fand diese Differenz nur 8 Minuten. Ebenso scheint Le Monnier die Wirkung, welche die strenge Kälte der Polargegenden auf die Refraction hervorbringt, sehr vergröfsert zu haben. Er fand, dafs während der grofsen Kälte, welche die bekannten holländischen Schiffer Hemskerk und Barents im J. 1597 in Novaja-sembla unter einer Breite von 76° erlitten, die Horizontalrefraction $4\frac{1}{2}$ Grad betragen haben sollte, was Cassini und Le Gentil eifrig zu bestreiten suchten. Keppler wurde durch seine Speculationen, denen der grofse Mann oft mit zu lebhafter Einbildungskraft nachhing, auf die Idee gebracht, dafs auf hohen Bergen, wo das Barometer niedriger steht, die Refractionen gröfser seyn müfsten, als in der Ebene, weil, wie er sagte, die einfallenden Strahlen auf hohen Bergen weiter vom Einfallslothe entfernt wären. Selbst Römer stimmte dieser irrigen Meinung bei. Die theoretischen Gründe, die Halley für das Gegentheil aufstellte, vermochten nichts über den gröfsten Theil der Astronomen seiner Zeit, bis endlich Bouguer durch seine Beobachtungen in Peru im J. 1738 der Wahrheit ihr Recht verschaffte. Er fand die Horizontalrefraction auf dem Gipfel des Chimboraço $19',75$ und am Niveau des Meeres $27',00$. Endlich wurden diese beiden Correctionen vorzüglich durch Lacaille's und T. Mayer's Bestimmungen so festgesetzt, wie sie im Allgemeinen noch in unsern Tagen gebraucht werden.

---

1 S. *Abendweite*, Bd. I. S. 14.

Digitized by Google

Sey nämlich A ein gegebenes Volumen, z. B. ein Kubikfuſs atmosphärischer Luft für irgend einen Normalzustand derselben, für welchen das Barometer $B = 28$ par. Zoll und das Thermometer $T = 0°$ Réaum. zeigen sollen. Für diesen Normalzustand der Atmosphäre wollen wir die Dichtigkeit derselben durch D bezeichnen.

Wenn sich nun die Temperatur der Luft ändert und das Thermometer t Grade zeigt, während das Barometer auf seinem vorigen Stande $B = 28$ Zoll bleibt, so wird die Aenderung des Volumens A der Luft jener Aenderung der Temperatur proportional seyn, d. h. dieses Volumen wird seyn $a = A + mt.A$, wo m ein constanter Factor ist, der die Aenderung des Volumens der Luft für jeden einzelnen Grad des Therm. R. angiebt. Da nun bei gleichen Massen die Dichtigkeiten sich verkehrt wie die Volumina verhalten, so wird man haben, wenn d die Dichtigkeit der Luft im neuen Zustande ist,

$$\frac{d}{D} = \frac{A}{a} \text{ oder } \frac{d}{D} = \frac{1}{1+mt}$$

und diese Gleichung gilt für den Stand des Barometers $B = 28$ par. Zoll und des Therm. Réaumur $= t$.

Wenn sich aber, indem das Thermometer dasselbe bleibt, das Barometer ändert und statt B jetzt b Zoll zeigt, so bezeichne d' die Dichtigkeit der Luft in diesem neuen Zustande derselben. Da die Dichtigkeiten der Atmosphäre bei gleichem Thermometerstande sich wie die Barometerhöhen, d. h. wie die die Luft zusammendrückenden Gewichte verhalten müssen, so wird man haben

$$\frac{d'}{d} = \frac{b}{B}$$

oder, wenn man den vorigen Werth von $d = \frac{D}{1+mt}$ substituirt,

$$\frac{d'}{D} = \frac{b}{B} \cdot \frac{1}{1+mt}$$

und diese Gleichung gilt für den Stand des Barometers b und für den des Thermometers t.

Noch ist zu bemerken, dafs das Quecksilber des Barometers selbst für jeden Grad des Thermometers sich um den m'ten Theil seines Volumens ausdehnt, dafs also bei der Temperatur von t' Graden die wirklich abgelesene Barometer-

Digitized by

höhe b um die Gröfse $m'.t'$ zu grofs ist, daher man statt b eigentlich $b(1-m't')$ oder $\frac{b}{1+m't'}$ nehmen mufs, so dafs also die vollständige Correction der mittlern Refraction r, um daraus die wahre r' zu finden, seyn wird

$$r' = r.\frac{d'}{D} = r.\frac{b}{B} \cdot \frac{1}{1+mt} \cdot \frac{1}{1+m't'},$$

wo t das sogenannte äufsere oder gewöhnliche Thermometer und t' das innere oder das an der Scale des Barometers angebrachte bezeichnet. Auf diese Weise findet man diese beiden Correctionen von den meisten Astronomen unserer Zeit angegeben. Nach ihren eigenen Beobachtungen und nach physischen Experimenten, die über die Ausdehnung der Luft und des Quecksilbers durch die Wärme angestellt wurden, hat man im Mittel gefunden $m = 0{,}00469$ und $m' = 0{,}000225$, einige kleine Variationen ungerechnet, welche verschiedene Beobachter für diese beiden Zahlen angegeben haben. Wichtiger wäre es zu entscheiden, ob das äufsere Thermometer t in der That aufser dem Observatorium hängen und sonach die Temperatur der äufsern Luft angeben soll, oder ob dasselbe in dem Beobachtungszimmer selbst aufgestellt die Temperatur der das Instrument zunächst umgebenden Luft zeigen soll. Die Astronomen haben viel darüber gestritten *et adhuc sub judice lis est.*

Noch mufs bemerkt werden, dafs die Correction durch das äufsere Termometer, oder der Factor $\frac{1}{1+mt}$ nicht streng richtig angebracht ist, obschon ihn, selbst nach Laplace's und Carlini's Tafeln, beinahe alle Astronomen so anwenden, wie er im Vorhergehenden gegeben ist. Schon T. Mayer hat vor bereits 80 Jahren auf diesen Irrthum aufmerksam gemacht, aber ohne damit Eingang zu finden. Erst Bessel hat diese Correction in seinen Refractionstafeln, Mayer's Bemerkung zufolge, richtig angebracht. Für grofse Zenithdistanzen und von $t=0$ weit entfernte Temperaturen kann der Fehler der alten Correction beträchtlich werden. Heifst man nämlich wieder r die mittlere und r' die wahre Refraction, so ist eigentlich, wenn man bei dem ersten Gliede der Entwickelung nach dem Taylor'schen Lehrsatze stehen bleibt,

$$r' = r + t.\frac{dr}{dt} + (b - B).\frac{dr}{db}.$$

Setzt man diesen Ausdruck, der bequemern Berechnung wegen, unter die Form

$$r' = \frac{r}{(1+mt)^n} \cdot \left(\frac{b}{B}\right)^{n'},$$

so findet man durch eine einfache Analyse, dafs in der oben gegebenen Gleichung (I) die Gröfse α in $\frac{\alpha}{1+mt} \cdot \frac{b}{B}$ und die Gröfse β in $\beta(1+mt)$ geändert werden mufs und dafs

$$n = -\frac{1}{mr} \cdot \frac{dr}{dt} \text{ und } n' = \frac{B}{r} \cdot \frac{dr}{db} \text{ ist.}$$

Es ist aber $\frac{dr}{db} = \frac{r}{B}$ und $\frac{dr}{dt} = -2mr + \frac{1900,''53\, m \,\mathrm{Sin.}\, z}{2r\sqrt{1+15{,}81\,\mathrm{Cos.}^2 z}}$

und daher, wenn man diese Werthe von $\frac{dr}{db}$ und $\frac{dr}{dt}$ in den vorigen Werthen von n und n′ substituirt,

$$n = 2 - \frac{950\,\mathrm{Sin.}\, z}{r\sqrt{1+15{,}81\,\mathrm{Cos.}^2 z}} \text{ und } n' = 1$$

und demnach die vollständige Correction der Refraction

$$r' = r \cdot \frac{b}{B} \cdot \frac{1}{(1+mt)^n} \cdot \frac{1}{1+m't'},$$

wo m und m′ die vorhergehende Bedeutung haben.

In aller Strenge sollte auch noch auf die Ausdehnung Rücksicht genommen werden, welche das Glas sowohl, als auch die meistens metallne Scale, auf welcher die Eintheilungen des Barometers und Thermometers verzeichnet sind, durch die Aenderung der Temperatur erhält.

Da die Temperatur einen so wichtigen Einfluſs auf die Refraction äufsert, so ist früher schon die Vermuthung entstanden, dafs die verschiedenen Zonen der Erde ihre eigenen Refractionen haben mögen. Lacaille hat am Vorgebirge der guten Hoffnung keine Aenderung der Refraction mit jener in Paris gefunden, wenn man nämlich bei beiden auf die oben erwähnte thermometrische Correction gehörig Rücksicht nimmt; Bouguer im Gegentheile fand die mittlere Refraction in Peru um beinahe ihren siebenten Theil kleiner, als in Europa[1]. Al-

1 Mém. de l'Acad. 1755, 1774 und 1749.

lein damals wurde die thermometrische Correction noch nicht oder nicht gehörig angebracht, und schon LACAILLE und T. MAYER sprachen unumwunden die Behauptung aus, dafs die mittlere Refraction für alle Gegenden der Erde dieselbe sey, eine Meinung, der man auch jetzt beinahe allgemein zugethan scheint, obschon sie weit entfernt ist, streng bewiesen zu seyn.

Aus den Beobachtungen in Palermo und Mailand schienen sogar die Astronomen dieser Sternwarten den Schlufs ziehen zu können, dafs im Allgemeinen jeder Ort der Erde seine eigene, von der Localität desselben bedingte, mittlere Refraction habe, und dafs diese daher auf jeder Sternwarte für sich bestimmt werden müsse, wenn anders eine wahre Uebereinstimmung der an verschiedenen Orten angestellten Beobachtungen erwartet werden soll. Andere gingen in ihren Zweifeln noch weiter und stellten die Meinung auf, dafs jeder Fixstern sein eigenes Licht, also auch seine eigene Refraction, so wie seine eigene Aberration habe. Man sieht, dafs Einwendungen solcher Art, wenn sie in der That gegründet seyn sollten, die letzte Vervollkommnung der praktischen Astronomie unmöglich machen würden.

Den oben erwähnten vortrefflichen Bessel'schen Refractionstafeln verdanken wir noch die Entscheidung eines andern streitigen Punctes, welcher die Astronomen lange gequält hat. BRADLEY, MASKELYNE, PIAZZI und beinahe alle grofse Beobachter der letzten Zeiten haben die Schiefe der Ekliptik aus der Beobachtung der beiden Solstitien des Sommers und des Winters beinahe immer und in demselben Sinne verschieden gefunden; die Differenz ging bis auf 8 Secunden und war daher viel zu grofs, um bei so sorgfältig und mit so guten Instrumenten angestellten Beobachtungen den Fehlern dieser Beobachtungen zugeschrieben zu werden. Die Erscheinung wiederholte sich so oft, dafs man sich endlich zu der Ansicht hinneigte, dafs die Winter- und Sommerschiefe[1] in der That verschieden sey und dafs also die die Erdbahn in zwei gegen einander geneigten Ebenen liege. So sonderbar diese Vermuthung auch seyn mochte, so fand sie doch allmälig Eingang, da man sich jene Verschiedenheit nicht anders erklären und doch auch an der Existenz derselben nicht weiter zweifeln konnte. So viel uns bekannt ist, suchte BÜRG

1 S. *Vorrückung der Nachtgleichen.*

zuerst die Ursache jener Differenz in der Refraction, besonders in der thermometrischen Correction derselben, da er nicht ohne Wahrscheinlichkeit vermuthete, dafs die beiden Extreme der jährlichen Temperatur, unter welchen jene Schiefen im Junius und December beobabachtet werden, jenen Unterschied der Solstitialhöhen der Sonne erzeugen. Er unternahm es daher, die bisher als gut anerkannten Refractionstafeln so zu ändern, dafs dadurch jener Unterschied aufgehoben wurde. Allein diese Tafeln, die man in den Wiener Ephemeriden bekannt machte und die nun allerdings jenen sonderbaren Widerspruch der Sonnenbeobachtungen aufhoben, waren dafür im directen Widerspruche mit allen Beobachtungen der Fixsterne, besonders des Polarsterns, welcher, so wie jene Solstitialbeobachtungen der Sonne, vorzugsweise von den Astronomen zu den Bestimmungen der Polhöhe gebraucht wird. Diese sogenannte Verbesserung konnte daher als eine höchst einseitige nicht angenommen werden, und der alte Zweifel blieb noch lange ungelöst, bis endlich Bessel[1] die Refraction zum besondern Gegenstande seiner Untersuchungen gemacht und gefunden hatte, dafs seine neuen, verbesserten Tafeln bei den Beobachtungen der Schiefe der Ekliptik, die Bradley angestellt hatte, jene Differenz nicht mehr zeigten und doch zugleich alle andern an den Fixsternen angestellten Beobachtungen vollkommen befriedigend darstellten. Da Maskelyne, Piazzi und andere Beobachter beinahe alle die oben erwähnten Bradley'schen Refractionstafeln zur Reduction ihrer Beobachtungen angewendet hatten, so vermuthete er, dafs die von ihnen gefundene Differenz ebenfalls aus derselben Quelle entstanden sey. Er berechnete daher diese Beobachtungen noch einmal mittelst seiner neuen Refractionstafel und sah zu seiner Zufriedenheit jene Differenz vollkommen verschwinden, so dafs die Winter- und Sommersolstitien völlig unter einander übereinstimmten. Dadurch erhielt denn nicht nur der so lange gehegte Zweifel der Astronomen, sondern auch ein sonderbarer Aufsatz in v. Zach's Mon. Correspondenz seine Abfertigung, in welchem man aus den Beobachtungen der Astronomen nachweisen wollte, dafs bei den sämmtlichen Planetenbahnen jene Beugung in zwei gegen einander geneigte Ebenen, die man

1 In seinen Fundamentis Astronomiae.

bei den Sonnenbahnen gefunden hatte, ebenfalls und noch in gröfserm Mafse statt habe.

Jede Theorie der Refraction mufs übrigens die Atmosphäre im ruhigen Zustande voraussetzen, so dafs die Dichte derselben in jeder gegebenen Höhe über dem Meere dieselbe ist, weil sich ohne diese Voraussetzung gar nicht rechnen liefse. Aber die Winde und Luftströmungen ändern ohne Zweifel diese Dichte in einzelnen Orten immerwährend und sie werden daher so wie die verschiedenen von der Erde und aus dem Wasser aufsteigenden Dünste auch auf die Refraction ihren Einflufs ausüben. Wie sehr sich also auch in der Folgezeit die Kunst, astronomische Instrumente zu verfertigen und damit zu beobachten, vervollkommnen mag, dieses Hindernifs wird wahrscheinlich nie ganz überwunden werden, und es bleibt uns daher nichts übrig, als durch Vervielfältigung der Beobachtungen unter verschiedenen Verhältnissen uns von jenen optischen Täuschungen so viel als möglich unabhängig zu machen. Nahe über dem Horizonte aber, etwa bis zur Höhe von drei Graden, wird die Ungewifsheit derselben so grofs, dafs man beim jetzigen Zustande unserer Kenntnifs der Refraction Beobachtungen in dieser Tiefe in den meisten Fällen besser gänzlich vermeidet.

Wenn die Correctionen des Barometers und Thermometers etwa erst seit siebenzig Jahren von den Astronomen berücksichtigt werden, so sind dafür andere, vielleicht nicht minder wesentliche Verbesserungen noch immer nicht mit der hier nöthigen Schärfe untersucht worden. So hat man wohl bereits die Frage aufgestellt, ob nicht auch die Feuchtigkeit der Luft auf die Refraction einen bemerkbaren Einflufs ausübe. Laplace, der einzige, welcher diesen Gegenstand näher untersuchte, kam auf das Resultat, dafs die Refraction keine vom Hygrometer abhängige Correction enthalten könne. Allein er ging dabei von einer Voraussetzung aus, deren Wahrheit selbst noch nicht erwiesen ist. Er nahm nämlich an, dafs die Wirkungen des Wassers und des Wasserdampfes auf das Licht der Dichtigkeit dieser beiden Körper proportional seyen. Dazu wurde er durch die Erfahrung bewogen, nach welcher die Wirkung der festen Körper, wenn sie durch eine höhere Temperatur in flüssige verwandelt werden, das Licht nahe ebenso afficiren sollen, wie in ihrem festen Zustande, woraus er den

Schlufs zog, dafs dasselbe auch bei den flüssigen Körpern statt haben werde, wenn sie durch eine gröfsere Wärme in einen luftförmigen Zustand versetzt werden. Biot und Arago haben dieses Resultat durch physische Experimente bestätigt gefunden. Es ist aber doch noch zu wünschen, dafs darüber directe astronomische Beobachtungen angestellt werden möchten. Welchen Einfluſs die Elektricität und andere Modificationen unserer Atmosphäre auf die Refraction haben, ist noch gänzlich unbekannt.

Auf der Sternwarte zu Paris will man schon längst bemerkt haben, dafs die Dämpfe und die Rauchwolken, welche aus der dieses Observatorium umgebenden grofsen Stadt aufsteigen, die Refraction ändern. Ebenso sollte die niedrige und feuchte oder die hohe und trockene Lage anderer Sternwarten, die Einwirkung des Meeres, naher Seen, Wälder u. dergl. einer genauen Untersuchung unterworfen werden. Lacaille fand öfter am Vorgebirge der guten Hoffnung, bei einem sonst scheinbar normalen Zustande der Atmosphäre, die Sterne in seinem Rohre so heftig zittern, dafs er sie nicht mehr beobachten, dafs er sogar die Flecken des Mondes nicht mehr erkennen konnte. Aehnliche, nur nicht ebenso starke Bewegungen hat man auch an andern Orten oft genug zu sehen Gelegenheit.

Besonders auffallend sind diese Wirkungen der Atmosphäre in der Nähe des Horizonts. Hierher gehören vorzüglich die Erscheinungen der sogenannten *Kimmung*, *Seespiegelung oder Fata Morgana*, wovon unten die Rede seyn wird.

Hier beschränken wir uns blofs auf die Bemerkung, dafs die Ortsbestimmungen niedrig liegender, terrestrischer Gegenstände durch diese Erscheinungen oft höchst ungewifs werden. Der Einfluſs dieser Ungewifsheit auf die trigonometrischen Messungen unserer Berghöhen und auf unsere Meridianmessungen zur Bestimmung der Gestalt der Erde ist oft genug gefühlt worden und schwer zu entfernen. Die verschiedenen, der Erde näheren Luftschichten, durch welche bei jenen Beobachtungen der Lichtstrahl vorzüglich geht, bewirken durch ihre Ungleichartigkeit, durch die verschiedenen dunstförmigen Bestandtheile, welche sie in sich aufnehmen, und durch die oft sehr ungleiche Erwärmung der zunächst unter ihnen liegenden Erdfläche ganz eigene Refractionen und Beugungen

des Lichtes, wodurch die Gegenstände nicht blofs, wie bei der astronomischen Refraction, in ihrem Scheitelkreise erhöht, sondern auch lateral von diesem Kreise verstellt und zuweilen sogar erniedrigt werden.

4) Wirkungen der Refraction auf andere Gegenstände.

Durch die Refraction erhält die Sonne, der Mond und alle Gestirne von bemerkbarem Durchmesser nahe am Horizonte des Beobachters eine ganz andere Gestalt, als die kreisförmige, die man an denselben in gröfseren Höhen erblickt, die Refraction erhöht nämlich den untern Rand dieser Gestirne viel mehr, als den oberen, und verkürzt dadurch den verticalen Durchmesser derselben, während der horizontale ungeändert bleibt. Diese Gestirne erscheinen daher nahe am Horizonte von einer stark abgeplatteten elliptischen Gestalt. Wenn die Sonne, deren Durchmesser nahe 32 Minuten beträgt, eben ganz aufgegangen ist und ihr unterer Rand noch im Horizonte steht, so wird derselbe durch die Horizontalrefraction nahe um 33 Minuten, also um den ganzen Durchmesser der Sonne, erhöht, während der obere Rand, dessen scheinbare Höhe bereits 32 Minuten beträgt, durch die Refraction nur um 28 Minuten erhöht wird, wodurch daher der verticale Durchmesser der Sonne um volle 5 Minuten oder um den 7ten Theil des Ganzen vermindert wird. Diese Bemerkung scheint schon den Alten bekannt gewesen zu seyn und Diodor von Sicilien[1] spricht mit Erstaunen von einem Volke im Norden, für welches die Sonne nicht rund erscheint. Oft wird auch durch die oben erwähnten Wirkungen der Refraction nahe am Horizonte diese im allgemeinen elliptische Gestalt der Sonne und des Mondes zu sehr unregelmäfsigen Formen verzerrt.

Aus dieser starken Horizontalrefraction mufs auch die zuweilen beobachtete Erscheinung erklärt werden, dafs man bei Mondfinsternissen die Sonne sowohl, als auch den Mond, beide ganz *über* dem Horizonte erblickt, obschon sie in der That einander diametral entgegen stehn müssen, da zur Zeit der Mitte einer solchen Finsternifs der Mittelpunct des Monds in der Schattenaxe der Erde, also Mond, Erde und Sonne i

1 Biblioth. histor. Lib. III. cap. 19.

einer geraden Linie stehen müssen. Diese Erscheinung beobachtete man z. B. bei der grofsen Mondfinsternifs des 19. Julius 1750 zu Paris. PLINIUS[1] führt eine ähnliche Beobachtung an, *utroque super terram conspicuo sidere*, und betrachtet sie als etwas Wunderbares und Widernatürliches, was sich nicht erklären lasse.

Diese Horizontalrefraction ist es ferner, welche die Länge unseres eigentlichen Tages, d. h. die Gegenwart der Sonne über unserm Horizonte verlängert, da sie die Sonne schon im Horizonte zeigt, wenn sie noch in der That unter demselben ist. Da die Horizontalrefraction nahe ebenso grofs ist, als der Durchmesser der Sonne, so ist diese Verlängerung des Tages doppelt so grofs, als die Zeit, die der Durchmesser der Sonne braucht, um durch den Horizont zu gehen. Nennt man T die Zeit zwischen zwei nächsten Culminationen der Sonne, p ihre Poldistanz, φ die geographische Breite des Beobachtungsortes und r den Halbmesser der Sonne, so ist die Zeit t, die der Durchmesser der Sonne braucht, um durch den Horizont zu gehen, wenn keine Refraction statt hätte,

$$t = \frac{2\,T\,r}{360.60^2.\sqrt{\text{Sin.}(p+\varphi)\,\text{Sin.}(p-\varphi)}},$$

woraus folgt, dafs für dieselbe Breite φ diese Zeit t am kleinsten ist, wenn $p = 90^\circ$ oder wenn die Sonne im Aequator steht. Ist aber $p = \varphi$, so ist t unendlich grofs, oder dann geht die Sonne, so lange p diesen Werth hat, gar nicht auf oder unter. Dieses ist der Anfang der Jahreszeit, wo für die Polargegenden keine Nacht statt hat, oder wo die Sonne fortwährend über dem Horizonte bleibt, und zwar so lange als p kleiner als φ ist, während durch dieselbe Zeit für die entgegengesetzten Polergegenden, in der andern Hemisphäre die Sonne nicht aufgeht oder kein eigentlicher Tag statt hat. Durch die Refraction wird aber, wie gesagt, diese Zeit des Tages sehr verlängert, und zwar desto mehr, je gröfser die geographische Breite ist. Dieses bemerkten zuerst die bereits erwähnten holländischen Seefahrer, die im J. 1597 unter dem 76ten Breitengrade den Rand der Sonne schon am 24. Januar wieder erblickten, da sie ihn der Rechnung nach ohne Re-

1 Hist. Nat. Lib. II. cap. 13.

fraction erst am zehnten Februar hätten sehen können. Aus derselben Ursache sieht man auch schon diesseits vom Polarkreise die Sonne mehrere Tage gar nicht untergehn, was ohne Refraction nicht möglich wäre. Carl XI. bemerkte dieses bekanntlich am 14. Jan. 1694 zu Torneå unter der Breite von 65° 50′ in Finnland [1]. Aus diesen beiden Erscheinungen folgt eine sehr grofse Horizontalrefraction, die in jenen Gegenden, vielleicht wegen der durch die Kälte so sehr verdichteten Luft, statt hat. Die folgende kleine Tafel zeigt die Beschleunigung des Aufgangs und die Verzögerung des Untergangs der Sonne und der Sterne überhaupt für verschiedene Polhöhen und Declinationen.

Polhöhe.	Declinationen.							
	0°		10°		20°		30°	
0°	2′	12″	2′	14″	2′	20″	2′	32″
10	2	14	2	16	2	22	2	36
20	2	20	2	23	2	31	2	46
30	2	32	2	36	2	46	3	7
40	2	52	2	57	3	12	3	47
50	3	25	3	33	4	2	5	27
54	3	45	3	55	4	36	7	7
58	4	9	4	24	5	26	12	32
62	4	41	5	3	6	50	—	—

So geht z. B. in Wien, dessen geographische Breite 48° 12′ ist, die Sonne am 21. Mai und 24. Juli, wenn ihre Declination 20 Grade beträgt, um 3′ 53″ früher auf und später unter, als sie ohne Refraction thun würde, und dasselbe hat auch am 21. Januar und am 22. November statt, so dafs dadurch jeder dieser vier Tage um 7′ 46″ verlängert wird. Zugleich erhellt daraus, wie unrichtig dadurch öfter die Höhenbeobachtungen, welche die Schiffer auf der hohen See machen, seyn müssen, da sie zu ihrem Horizontalpuncte den Rand des Meeres nehmen müssen, wo desselbe sich vom Himmel scheidet. Schon im Anfange des vorigen Jahrhunderts fand der Astronom Laval in Marseille die scheinbare Vertiefung des Meerhorizonts bald 11′ 46″ und bald wieder 14′ 30″,

1 Acta Erudit. Lips. 1697. Febr. p. 91.

während die wahre Vertiefung desselben 13′ 14″ betragen sollte[1].

Dieselbe Atmosphäre, welche uns alle Gestirne höher zeigt, als sie in der That stehn, schwächt auch den Eindruck, welchen ihr Licht auf unser Auge machen würde, wenn dasselbe unmittelbar zu uns gelangen könnte. Aus diesem Grunde können wir die Sonne bei ihrem Auf- und Untergange ohne Schmerzen ansehn, während sie am Mittage unsere Augen blendet, weil, wenn sie in der Nähe des Horizonts steht, ihre Strahlen durch einen viel gröfsern und zugleich dichtern Theil der Atmosphäre gehn müssen, als wenn sie Mittags am höchsten steht. Nach Bouguer hat man für die Stärke des Lichts der Himmelskörper, wenn man dieselbe aufser der Atmosphäre gleich der Einheit setzt, für die Zenithdistanz

0°, 20°, 40°, 60°, 70°, 80°, 90°

0,81 0,82 0,76 0,86 0,55 0,30 0,001,

so dafs daher die Lichtstärke der Sonne am Horizonte über 800mal schwächer ist, als im Zenith. Laplace[2] gab für die Intensität des Lichts, welches ein Gestirn in verschiedenen Zenithdistanzen noch in das Auge des Beobachters schicken kann, folgenden sehr einfachen Ausdruck. Nennt man nämlich z die scheinbare Zenithdistanz des Gestirns, b die Höhe des Barometers in Par. Zoll und t den Stand des Thermometers Réaum., so ist der Logarithmus dieser Intensität des Lichts gleich

$$\frac{0{,}00322\,b}{(1+0{,}0047\,t)\,.\,\mathrm{Cos.}\,z^{6}}$$

Dieser Ausdruck giebt die Extinction des Lichts der Himmelskörper auf den Gipfeln der Berge und an dem Ufer des Meeres, eine Kenntnifs, die man bei der Beobachtung der Finsternisse der Jupiterssatelliten und bei der Bestimmung der Intensität des Lichts in dem Focus unserer Brenngläser mit Nutzen anwenden kann. Doch mufs dabei bemerkt werden, dafs die in der Atmosphäre verbreiteten Dünste die Schwächung des Lichts sehr befördern. Der reine Himmel und die dünne Luft auf unsern Bergen lassen uns die Gestirne in einem viel lebhaftern Lichte sehn, als in der Tiefe der Thäler, und

1 Mém. de l'Acad. 1707. p. 195. Viele und noch auffallendere hierher gehörende Erscheinungen findet man in de Luc's Recherches sur les modific. de l'atmosphère. Par. 1772.

2 Expos. du Système du Monde. 5. ed. T. I. p. 182.

wenn einmal auf den Gipfeln der Anden oder der noch gröfsern Gebirge im nördlichen Indien eine Sternwarte, mit unsern grofsen Fernröhren ausgerüstet, errichtet werden sollte, so würden wir ohne Zweifel eine grofse Anzahl von neuen Gegenständen am gestirnten Himmel erblicken, die uns unter dem Schleier, der hier unten unsere Augen umhüllt, immer unsichtbar bleiben werden.

Dieselbe Wirkung der Atmosphäre auf das Licht, welche die Refraction erzeugt, ist auch die Ursache der *Dämmerung*. Selbst dann nämlich, wenn die Sonne schon so tief unter unserm Horizonte steht, dafs die Refraction sie selbst uns nicht mehr sichtbar machen kann, selbst dann schickt uns die Atmosphäre noch einen bedeutenden Theil des Sonnenlichts zu. Dieser Theil der Sonnenstrahlen kommt zwar nicht mehr von dem directen, aber wohl von dem reflectirten Lichte der Sonne, nämlich von denjenigen Strahlen, welche von den höhern Theilen der Atmosphäre und von den Dünsten und Wolken, wenn sie von der bereits untergegangnen Sonne beschienen sind, wie von einem Spiegel auf die Erde geworfen werden und dadurch den Anfang und das Ende unserer Nächte oft Stunden lang mit einem wohlthätigen Lichte erleuchten. Sey A A′ A″ die Erde, die sich von West gen Ost, in der Richtung von A nach A″, um ihre Axe dreht. Die Sonne S geht für den Punct A eben unter, da ihr letzter Strahl S A B′ schon den Horizont des Beobachters A streift, während ihre höhern Strahlen S B″, S B‴ . . wohl noch durch die Atmosphäre A A‴ B′ B‴ gehn, aber ohne die Erde weiter zu berühren, bis endlich auch der letzte S B‴ von diesen höhern Strahlen die Atmosphäre in ihrem äufsersten Puncte B‴ streift. Betrachten wir nun die dem Beobachter in A gen Ost gelegnen Puncte A′, A″ . . der Erde, die zunehmend tiefer im Schatten der Nacht stehn, je weiter sie von A entfernt sind. Der Punct A erhält noch den letzten directen Sonnenstrahl und wird überdiefs noch durch alle die reflectirten Strahlen beleuchtet, die von dem ganzen Theile A B′ B″ B‴ der westlichen Atmosphäre auf ihn zurückgeworfen werden. Dieser Punct A bekommt daher noch das Licht der Dämmerung von der ganzen ihm sichtbaren Halbkugel des Himmels und zwar das stärkste Licht von der Westseite dieser Halbkugel, auf welcher sich die Sonne befindet. Der Beobachter

Fig. 391.

in A′ aber, für welchen die Sonne bereits untergegangen ist, bekommt von demjenigen Theile der ihm sichtbaren Halbkugel des Himmels, der östlich von der Linie A B′ liegt, weder ein directes, noch auch ein reflectirtes Licht, sondern blofs von dem Theile m B′ B‴ ein reflectirtes Licht, der über dem Horizonte A′ B‴ dieses Beobachters auf der Westseite desselben liegt. Dieses reflectirte Dämmerlicht wird am stärksten im Puncte B‴ seyn, unter welchem eben die Sonne steht, und wird gegen die andere Grenze B′ hier immer schwächer werden. Der Beobachter in A″, der noch weiter gen Ost und noch tiefer in dem Schatten der Nacht liegt, bekommt dann von dem ganz kleinen Theile n B′ B″ der ihm sichtbaren Halbkugel einiges reflectirtes Licht, der über seinem Horizonte A″ B″ auf der Westseite liegt. Für ihn ist daher die Dämmerung schon sehr schwach und blofs auf den untersten Theil des Horizonts beschränkt. Für den Beobachter in A‴ endlich giebt es keine Dämmerung mehr, da bereits alle von der Sonne noch beleuchtete Atmosphäre ganz *unter* dem Horizonte A‴ B′ dieses Beobachters liegt[1].

Wenn man einen Sonnenstrahl durch die enge Oeffnung eines Fensterladens in ein finsteres Zimmer gehn läfst, so sieht man denselben nicht blofs als einen lichten Faden durch die ganze Länge des Zimmers gehn, sondern man bemerkt auch die um ihn liegenden Gegenstände in einem matten Lichte schimmern, so dafs durch diesen einen Strahl das ganze Zimmer erleuchtet wird, offenbar weil einzelne Elemente der Luft, durch die der Strahl geht, das Licht desselben nach verschiednen Seiten zerstreuen und zurückwerfen, wodurch diese Lichttheilchen auf die den Strahl umgebenden Gegenstände gebracht und dann von diesen wieder in unser Auge reflectirt werden. Dieselbe Erscheinung hat in einem noch viel höhern Grade für alle Theile der Erde statt, wenn sie von der über ihrem Horizonte stehenden Sonne beschienen werden. Denn so wie diese Sonne die Gegenstände, die auf der Oberfläche der Erde sich befinden, mit ihren Strahlen erleuchtet, so bescheint sie auch unsere Atmosphäre nebst den in ihr enthaltnen Wolken und Dünsten, und diese zerstreuen das von der Sonne erhaltene Licht, gleich zahllosen Spiegeln,

---

1 Vergl. *Dämmerung*. Bd. II. S. 265.

nach allen Seiten, so dafs gleichsam von jedem sichtbaren Puncte auf und über der Erde nach jedem andern Puncte die Strahlen des Lichts sich nach allen Richtungen durchkreuzen. Das allgemeine über uns verbreitete Tageslicht, dessen wir uns während der Gegenwart der Sonne erfreuen, ist daher eine Erscheinung, welcher dieselbe Ursache, als der Dämmerung zum Grunde liegt. Wäre die Erde von keiner Atmosphäre umgeben, oder hätten die Elemente der Atmosphäre nicht die Eigenschaft, das Licht nach allen Seiten zurückzuwerfen, so würden wir auf der Erde offenbar nur diejenigen Gegenstände sehn können, die unmittelbar von der Sonne beschienen werden, und alle andere Körper, die von den Sonnenstrahlen nicht direct beschienen werden, würden nicht mehr, wie bisher, blofs beschattet und doch noch sichtbar, sondern sie würden ganz in der dunkelsten Nacht liegend und für uns völlig unsichtbar seyn. Jede kleine Wolke, die zwischen uns und der Sonne vorüberzieht, würde uns sofort in die dunkelste Tiefe unserer Mitternacht versetzen; die Fixsterne würden ganz nahe bei der Sonne auch am Tage sichtbar seyn; der Himmel würde an allen von Gestirnen freien Stellen schwarz und finster erscheinen, und selbst unsere Wohnungen würden, sobald ihr Inneres nicht unmittelbar von der Sonne beschienen wird, in nächtlicher Finsternifs eingehüllt seyn, und da endlich ohne Atmosphäre auch keine Dämmerung mehr statt haben könnte, so würden wir nicht nur das schöne Schauspiel der Morgen- und Abendröthe entbehren müssen, sondern wir würden auch unmittelbar nach der dunkelsten Nacht die hellleuchtende Sonne und ebenso plötzlich auch nach dem hellsten Tage wieder die schwärzeste Nacht über uns einbrechen sehn, ein Zustand, der auf unsere Gesichtsorgane nicht anders als sehr nachtheilig einwirken müfste.

5) Terrestrische Refraction.

Bisher wurden die Gegenstände, die ihr Licht in das Auge des Beobachters senden, weit aufser der Atmosphäre der Erde angenommen, wie dieses bei allen Körpern des Himmels der Fall ist. Das Licht dieser Körper legt, wenn es uns näher kommt, seinen Weg durch die *ganze* Atmosphäre von ihrem höchsten bis zu ihrem tiefsten Puncte zurück. Wenn man aber blofs irdische Gegenstände, z. B. die Höhe eines Berg-

Digitized by Google

gipfels beobachtet, so liegt dieser Gegenstand selbst in der Atmosphäre und das von ihm zu uns kommende Licht geht nur durch *einen Theil* der Atmosphäre, der aber in seinen verschiednen Puncten eine verschiedene Entfernung und daher auch eine verschiedene Dichte hat, so dafs also der von dem Berggipfel ausgehende Lichtstrahl, von jenem Theile der Atmosphäre, durch welchen er geht, ungleich angezogen, eine *krumme* Linie beschreibt, in deren letzter Tangente wir die Spitze des Berges erblicken. Der Winkel, welchen diese Tangente mit derjenigen geraden Linie bildet, die das Auge des Beobachters mit dem irdischen Gegenstande, mit der Spitze des Berges verbindet, heifst die *terrestrische Refraction*, zum Unterschiede von der oben betrachteten, welche die *astronomische* Refraction genannt wird.

Diesen für die Geodäten wichtigen Gegenstand behandelten zuerst T. Mayer [1], nachher Lambert [2] und H. W. Brandes [3]; am besten findet man die Sache ausgeführt von Laplace [4]. Im Allgemeinen ist die wahre Gröfse dieser terrestrischen Refraction schwer mit einiger Genauigkeit zu bestimmen, da man hier, wie bei der astronomischen Horizontalrefraction, mit den untersten Schichten der Atmosphäre zu kämpfen hat, die durch die Ausdünstungen der Erde und des Wassers und durch die verschiedene Erwärmung des Bodens sehr viele und grofse Anomalieen darbietet. Schon Nettleton [5] beklagt sich über die oft sehr bedeutenden Veränderungen, denen die Höhe der terrestrischen Gegenstände ausgesetzt ist, und er fand die scheinbare Höhe eines aus seinem Fenster gesehnen Hügels öfter um einen halben Grad gröfser, als zu andern Zeiten. Nicht selten bemerkt man auch laterale Verstellungen in dem scheinbaren Orte dieser Gegenstände, so dafs daher die terrestrische Refraction nicht blofs die Höhe, sondern auch das Azimuth derselben ändert.

Die Theorie zeigt, und die Erfahrung stimmt damit in den hier zu erwartenden Grenzen überein, dafs die terrestri-

---

1 Programma de refractionibus terrestribus. Gott. 1751. 4.

2 Propriété de la route de la lumière par les airs. Haag 1759.

3 Beobachtungen und theoretische Untersuchungen über die Strahlenbrechung. Oldenb. 1807. 4.

4 Mécan. cél. T. IV.

5 Philos. Trans. 1725.

sche Refraction eine Function des Winkels ist, welchen die zwei Halbmesser der Erde unter sich bilden, welche den Mittelpunct derselben mit dem Beobachter und mit dem gemessenen terrestrischen Objecte verbinden.

Sey C der Mittelpunct der Erde, A der Beobachter und B das irdische Object, z. B. der Gipfel eines Berges. Nennt man ω den Winkel ACB, den die beiden Halbmesser CA und Cb bilden, so ist die terrestrische Refraction r, um welche der Beobachter in A die Bergspitze B zu hoch sieht, Fig. 392.

$$r = n\omega,$$

wo n ein constanter Factor ist, der durch Beobachtungen bestimmt werden soll. Man findet aber für verschiedne Verhältnisse, unter welchen diese Beobachtungen angestellt werden, auch verschiedene Werthe der Gröfse n, die von 0,06 bis zur Einheit variirt. Im Mittel nimmt man, den vielen darüber angestellten Erfahrungen gemäfs, $n = 0{,}08$ an. Wird also der Winkel ω in Secunden ausgedrückt, so ist der ebenfalls in Secunden gegebene Werth von r gleich $1 = 0{,}08 . \omega$. Will man aber nicht diesen Winkel ω, sondern bequemer die horizontale Distanz Ab des Beobachters vom Objecte durch Δ bezeichnen und in Toisen ausdrücken, so ist für die kugelförmige Erde

$$\omega = \frac{\Delta}{a \sin. 1''},$$

wo a der Halbmesser der Erde in Toisen oder Log. a = 6,51471 ist. Wenn man aber auch auf die Ellipticität der Erde Rücksicht nimmt, so ist

$$\omega = \frac{\Delta}{a \sin. 1''} . (1 + 2\alpha - 3\alpha \sin.^2 \varphi),$$

wo α die Abplattung der Erde und φ die geographische Breite des Beobachtungsorts bezeichnet. Wird unter dieser oder jener Voraussetzung die Distanz Ab = Δ in Toisen ausgedrückt, so hat man für die Refraction r der Höhe bAB den Ausdruck

$$r = 0{,}00505\ \Delta.$$

So beträgt für eine Distanz $\Delta = 1000$ Toisen die Refraction 5″,0 und für eine Distanz von 3807 Toisen oder für eine deutsche Meile die Refraction 19″,2.

Um zu zeigen, wie man den Werth der Gröfse n aus terrestrischen Beobachtungen finden kann, seyen z und z′ die

Digitized by Google

beiden gegenseitigen beobachteten Zenithdistanzen der Puncte A und B, die also ihre Refractionen r und r′ noch in sich enthalten, so ist $ZAB = z + r$ und $Z'BA = z' + r'$. Da die Summe dieser zwei Winkel gleich $180° + \omega$ ist, so hat man

$$z + z' + r + r' = 180 + \omega.$$

Sind aber diese beiden Beobachtungen entweder gleichzeitig von zwei Beobachtern, oder doch unter denselben Verhältnissen angestellt worden, so ist $r = r'$ und daher

$$z + z' + 2r = 180 - \omega \text{ oder, da } r = n\omega \text{ ist,}$$

$$n = \frac{180 + \omega - z - z'}{2\omega},$$

durch welchen Ausdruck die Gröfse n bestimmt werden kann.

Da man sonach durch das Instrument nicht die wahren, sondern nur die scheinbaren, durch die terrestrische Refraction veränderten Zenithdistanzen z und z′ erhält, so ist noch die Frage zu beantworten, wie man aus diesen beiden gegenseitigen Zenithdistanzen die eigentlich gesuchte Höhendifferenz $Bb = h$ der beiden Objecte A und B erhält. Zu diesem Zwecke hat man in dem Dreiecke ABb

$$\frac{h}{\Delta} = \frac{\text{Sin. BAb}}{\text{Sin. ABb}}.$$

Es ist aber $CAb = 90 - \frac{1}{2}\omega$ und $BAb = 90 + \frac{1}{2}\omega - z - r$, so wie $ABb = z + r - \omega$, also geht die vorhergehende Gleichung in folgende über

$$h = \frac{\Delta \text{ Cos.}(z + r - \frac{1}{2}\omega)}{\text{Sin.}(z + r - \omega)} \quad \ldots \quad \text{(I)}$$

oder auch, wenn man die Gleichung $z + z' + r + r' = 180 + \omega$ und $r = r'$ zu Hülfe nimmt,

$$h = -\frac{\Delta \text{ Cos.}(z' + r - \frac{1}{2}\omega)}{\text{Sin.}(z' + r)} \quad \ldots \quad \text{(II).}$$

Diese Gleichungen (I) oder (II) geben die gesuchte Höhendifferenz h des terrestrischen Objects über dem Beobachter aus der einen oder aus der andern der beiden beobachteten Zenithdistanzen z oder z′, so dafs man also nur *eine* derselben zu beobachten braucht. Hat man aber beide beobachtet, so findet man daraus für h einen von der Gröfse r unabhängigen Werth. Denn da $r = \frac{180 + \omega - z - z'}{2}$ ist, so erhält man

Digitized by Google

$$h = \frac{\Delta \,\mathrm{Sin.}\, \frac{1}{2}(z' - z)}{\mathrm{Cos.}\, \frac{1}{2}(z' - z + \omega)} \quad . \quad . \quad \text{(III)}$$

und dieser letzte Ausdruck wird die gesuchte Höhendifferenz h mit mehr Verläfslichkeit geben, als die beiden vorhergehenden Gleichungen, da, wie gesagt, die Bestimmung der Gröfse n immer noch mehrern Unsicherheiten unterworfen ist. Hätte man z. B. $\frac{1}{2}(z' - z) = 0°\,20'\,0''$ und $\Delta = 100000$ Toisen, so findet man daraus $\omega = 1°\,45'\,5'',4$ und daher durch die Gleichung (III) den Höhenuntersohied der beiden Beobachtungsstationen $h = 581{,}903$ Toisen. Es ist für sich klar, dafs dieselbe Gleichung (III) auch die Entfernung Δ der beiden Stationen in Toisen geben wird, wenn die beiden beobachteten Zenithdistanzen z und z′ und der Höhenunterschied h der Stationen, etwa durch Barometermessungen, bereits bekannt ist. Man sieht ohne weitere Erinnerung, wie wichtig diese einfachen Ausdrücke für den Geodäten und Trigonometer sind und wie sehr es die Aufmerksamkeit der Beobachter verdient, die wahre Gröfse des Factors n mit Genauigkeit zu bestimmen.

L.

6) Luftspiegelung.

Sehr mit Unrecht hat man mit dem Namen Luftspiegelung eine grofse Reihe von Erscheinungen bezeichnet, bei denen vermuthlich niemals, auf jeden Fall nur ausnahmsweise, eine Spiegelung wirksam ist, die vielmehr insgesammt von der Refraction der Lichtstrahlen in den ungleich erwärmten Luftschichten abhängen. Die Sache war seit den ältesten Zeiten her bekannt, die Erzählungen der alten Schriftsteller aber wurden als bloſse Fabeln nicht beachtet, bis neuere Beobachtungen zur gründlichen Untersuchung der Phänomene und ihrer Ursachen ermunterten. Pomponius Mela erzählt, es gebe in Mauritanien am Atlas Länder, wo die Bewegungen der Menschen durch Gespenster zwischen den Bergen nachgeahmt würden. Plinius gedenkt einer grofsen Landschaft in Scythien, wo sich grofse Heerden von Menschen und Schafen in der Luft sehn liefsen. Ebenso berichtet der Armenier Haithon, es gebe am Obi eine Landschaft, wohin wegen einer Menge Gespenster, die jenseit des Flusses erblickt würden, niemand kommen könne. Hieran lassen sich dann die mährchenhaften Erzählungen reihen, die über die sogenannte *Fata*

Digitized by Google

Morgana verbreitet sind, welche ohne Zweifel durch gleiche Ursachen erzeugt wird[1].

Die zur Luftspiegelung gehörigen, durch irdische Refraction erzeugten Erscheinungen sind im Ganzen einander ähnlich. Gegenstände jeglicher Art, insbesondere aber entfernte Dörfer, Thürme, Schiffe u. dgl., erscheinen völlig klar sowohl mit bloſsen Augen, als auch durch Fernröhre gesehn, allein sie scheinen von Wasser umgeben zu seyn, in der Luft zu schweben oder wohl gar umgekehrt und der Erde entrückt zu seyn. Entfernte und daher unter dem Horizonte liegende Gegenstände kommen über den Horizont empor und werden sichtbar, verschwinden aber wieder, wenn man sich höher erhebt, und aus ebendieser Ursache verschwindet auch das Wasser, welches die gesehnen Gegenstände zu umgeben scheint. Kommt man den scheinbar in einem See liegenden Orten näher, so wird die sie einschlieſsende Wasserfläche schmäler, bis sie gänzlich verschwindet, dagegen aber hinter dem Beobachter, wenn er sich rückwärts umsieht, die vorher frei gesehnen Gegenstände, und namentlich Ortschaften, zu umgeben scheint.

In Deutschland wurde die Erscheinung am frühesten beobachtet und bekannt gemacht durch Büsch[2]. Unter die mehrern angeführten Beispiele der Beobachtungen dieses Phänomens gehört vorzüglich eins, wobei er die Erscheinung auf dem Lande wahrnahm. Am 5. Oct. 1779 fuhr er mit einigen Gefährten von Ottersberg nach Bremen und alle sahn diese Stadt jenseit eines ruhigen Wasserspiegels liegen, erstaunten aber nicht wenig, als sie beim Hinauffahren auf einen 6 Fuſs hohen Damm bloſs durch eine grünende Wiese von der Stadt getrennt waren. Ein anderes Mal zeigte sich das Phänomen auf der See. Büsch fuhr von Travemünde nach Kopenhagen und das Schiff muſste wegen ungünstiger Winde zwischen den Meklenburgschen, Holsteinschen und

---

1 Vollständig über das Geschichtliche handelt Dr. Castrup in Hafn's Bibliothek. Copenh. 1802. Verschiedene ältere Nachrichten findet man in G. LVIII. 19 ff.

2 Tractatus duo optici argumenti. Hamb. 1783. 4. In Picard's Reise nach Uranienburg und in mehrern Reisebeschreibungen wird die Erscheinung erwähnt, jedoch nur beiläufig und ohne in das Wesen der Sache tiefer einzugehn.

Digitized by Google

Laland'schen Küsten hin und her segeln. Am 23. Juli, einem sehr heitern Tage, zeigte sich wiederholt die Erscheinung, die von den Seeleuten *Kimmung* genannt wird, indem sie die 5 Meilen entfernte Küste Femerns und Pommerns über dem Horizonte schwebend erblickten. Durch ein Fernrohr sah Büsch nicht blofs, was sich bei der Kimmung gewöhnlich zeigt, nämlich die Küste über dem Horizonte schweben, sondern auch ein zweites verkehrtes Bild derselben unter dem erstern und beide durch einen hellen Streifen von einander getrennt.

Unter die ältern Beobachtungen gehören auch die von Gruber[1], die er theils am Cirknitzer See, theils in den meilenlangen Ebnen des Temeswarer Bannats bei heiterm Himmel wahrnahm. Hier sah er von einem 1000 bis 2000 Klaftern entfernten Dorfe blofs die Dächer, einem Wäldchen ähnlich, am äufsersten Horizonte und ebenso die über die Ebene hervorragenden Hügel ohne Grundlage, die höher emporragenden Gegenstände aber, als Bäume, Gebäude und Thürme, weil sie sich in einer Wasserebene zu spiegeln schienen, von doppelter Gröfse. Selbst grofse Seen glaubte er wahrzunehmen, die bei der Annäherung zurückwichen und, wenn er sich etwas erhob, schmäler wurden oder ganz verschwanden. Auch Andrew Ellicot[2] erzählt, wie er am See Erie durch das sonderbare Phänomen überrascht wurde, welches der Seemann *Looming* nennt. Bei heiterm Himmel des Morgens um 10 Uhr erschien nämlich in der Richtung der 25 engl. Meilen entfernten Landzunge Presqu' Isle etwas, das wie Land aussah und bis Mittag sichtbar blieb. Durch ein gutes Fernrohr zeigten sich deutlich Zweige der Bäume, am Nachmittage aber schien die ganze Halbinsel beträchtlich über den Horizont erhaben und häufig zeigte sie sich sogar doppelt, eine über, die andere unter dem Wasser, welches wie ein Streif beide Bilder trennte, die eine Zeit lang so getrennt blieben, abwechselnd aber wieder zusammenfielen. Am folgenden Tage war die Halbinsel wieder unsichtbar und blieb es auch während der ganzen Zeit, welche die Truppen in jener Gegend verweilten.

1 Physikalische Abhandlung über die Strahlenbrechung. Dresd. 1787.

2 Transactions of the Amer. Phil. Society. T. III. p. 62 von 1787.

Digitized by Google

Inzwischen wurden diese nicht ganz seltnen Phänomene von den Physikern nur wenig beachtet, das gröfsere Publicum kannte sie aber überhaupt kaum, bis die französische Armee in Aegypten dadurch überrascht wurde und die Erzählung hiervon die allgemeine Aufmerksamkeit rege machte. In einer Abhandlung, welche Monge hierüber im Nationalinstitute vorlas[1], erzählte er, dafs das Phänomen, was die Seeleute *Mirage* oder *la terre se mire* (von *miroir* Spiegel) nennen, indem entfernte Schiffe nicht auf dem Meere zu ruhn, sondern am Himmel zu schweben schienen, sich auch in Aegypten gezeigt habe. Als nämlich die Armee durch die Wüste marschirte, schienen die entfernten Dörfer auf einer Insel mitten in einem See zu liegen. Je näher man dem Dorfe kam, desto mehr zog sich die scheinbare Wasserfläche zusammen und verschwand dicht an demselben gänzlich, wogegen sich das Phantom um das nächstvorhergehende und das folgende wieder zeigte.

Nach dieser Zeit wurden nicht blofs viele anderweitige Beispiele bekannt, sondern die Ursachen dieser Phänomene wurden auch von verschiedenen Gelehrten lichtvoll entwickelt. Unter die merkwürdigsten Fälle gehört derjenige, welchen Dangos[2] berichtet. Am 20. März um Mittag verbreitete sich zu Malta die Nachricht, es habe sich im Canale dieser Insel eine neue Insel aus dem Meere erhoben, welche aufzusuchen und in Besitz zu nehmen mehrere Schiffer abfuhren. Durch ein Fernrohr sah Dangos von der Terrasse des Observatoriums aus das aus dem Meere hervorragende weifse Haupt dieser vermeintlichen Insel. Bald gewahrte er jedoch, dafs sie genau in der Richtung des Berges Aetna lag, welcher unter das Niveau des Meeres herabgedrückt war, während die vermeintliche Insel sich nach Schätzung in 4 bis 6 Lieues Entfernung rundum vom Meere umgeben zeigte. Nach etwa 30 Minuten aber schien die Insel sich allmälig zu entfernen und der wirkliche Aetna nebst den Küsten Siciliens kam wieder zum Vorschein. Auch von den Inseln Camino und Gozzo, etwa 8 bis 10 franz. Meilen von dem Beobachtungsorte zu Malta, hatte man die neue Insel gesehn. Von dieser

1 Décade philom. An. VII. No. 10. p. 3.
2 Mém. de l'Institut Étrang. T. I. p. 462.

Digitized by Google

Zeit an achtete Dangos mehr auf dieses Phänomen und sah es auch wirklich abermals am 17. April des folgenden Jahres so vollständig, dafs er genau wahrnahm, wie die Insel scheinbar entstand und wieder verschwand. Ein ähnliches, aber noch weit grofsartigeres Phänomen beschreibt Latham[1]. Nicht blofs er selbst, sondern eine Menge andere Personen, namentlich Fischer, sahen von Hastings aus mit blofsen Augen und durch Fernröhre die mindestens 9 bis 11 deutsche Meilen entfernte französische Küste und unterschieden deutlich die einzelnen Puncte bei Boulogne, St. Valery u. s. w., die den Fischern genau bekannt waren und ihnen so nahe zu seyn schienen, als könnten sie in kurzer Zeit dahin kommen. Als Latham darauf einen beträchtlich hohen östlich liegenden Hügel hinaufstieg, wurde die Erscheinung noch grofsartiger, indem die Klippen von Dover und die ganze französische Küste von Calais bis St. Valery, ja nach Einigen sogar bis Dieppe übersehn werden konnte, das Teleskop aber die Fischerböte vor Anker liegend, auf den Höhen die Häuser und die Farben des Bodens zeigte. Das Vorgebirge Dungenefs, beinahe 3,5 deutsche Meilen in gerader Linie von Hastings, zeigte sich, als stände man dicht davor, ebenso die Fischerböte und die vorbeisegelnden Schiffe, alles beträchtlich vergröfsert.

Woltmann[2] benutzte die ihm zu Gebote stehenden Mittel einer überaus günstigen Localität zu Cuxhaven für eine Menge genauer Beobachtungen dieser Phänomene und gelangte hierdurch zu folgenden Resultaten. Entlegene Gegenstände, z. B. Häuser, Bäume u. s. w., nahe am Horizonte, scheinen durch einen hellen Luftstreif oder einen glänzenden leeren Raum von der Erdfläche getrennt zu seyn. Man glaubt sie in der Luft schwebend zu sehn oder, wenn das Auge ansehnlich erhoben ist, ein stilles glänzendes Meer über der ganzen Landschaft, worin die Gegenstände stehn und sich spiegeln, wahrzunehmen. Durch ein Fernrohr sieht man die entfernten Gegenstände sehr deutlich gerade so mit einem umgekehrten Bilde darunter, wie sie sich in der Nähe darstellen, wenn zwischen ihnen und dem Auge ein ebener Wasserspiegel ist. Das verkehrte Bild und das Object sind an

---

1 Aus Philos. Trans. for 1798. p. 357. in G. IV. 142.
2 G. III. 397.

Farbe und Helligkeit gleich und hängen unmittelbar zusammen, so dafs man sie mit bloſsen Augen für einen und denselben Gegenstand zu halten geneigt ist. Man gewahrt dieses auch bei Schiffen auf unruhiger See, wobei das bewegte Wasser dunkelblau ist und sich sehr deutlich von der glänzenden Fläche unterscheidet, die beide Objecte trennt. Der helle Streif vor den Gegenständen ist um so viel breiter, je entfernter sie sind und je weniger sie daher über den Horizont hervorragen. Wenn bei unverändertem Orte des Auges der Gegenstand näher rückt, so nimmt zuerst der helle Streif an Breite ab, bis er ganz verschwindet, dann fängt auch das verkehrte Bild an abzunehmen und zwar verliert sich der untere Theil desselben, der dem obern des Objects entspricht, zuerst. Ebendieses ist der Fall, wenn sich das Auge erhebt. Endlich gesellet sich zu dem Phänomene noch eine zitternde Bewegung der Bilder und ist zuweilen an hellen und warmen Tagen, wenn die Oberflächen der Körper sehr erhitzt sind, so lebhaft, zumal an den Rändern der Objecte, dafs diese sich gleichsam wellenförmig zu bewegen scheinen. Mit diesen Angaben Woltmann's stimmen die Berichte anderer Beobachter vollkommen überein, nur nicht darin, dafs die Bilder gewöhnlich kleiner seyn sollen, als die Objecte, wie er namentlich bei Häusern und Bäumen wahrgenommen haben will, statt dafs andere vielmehr von einer Vergröſserung der auf diese Weise erzeugten Bilder reden.

Ausnehmend vollständige Beobachtungen der irdischen Strahlenbrechung sind diejenigen, die Vince[1] mitgetheilt hat. Von Ramsgate aus, auf einer Höhe von 25 bis 80 engl. Fufs sich befindend und mit Anwendung eines Fernrohrs von etwa 30- bis 40facher Vergröſserung, sah er an einem schwülen Abende nach einem sehr heifsen Tage, indem er nach den aus groſser Entfernung über den Horizont emporkommenden Schiffen hinblickte, unter mehrern interessanten Luftspiegelungen namentlich auch den Mast a eines Schiffes über die Meeresfläche x y hervorragen, in einigem Abstande über demselben aber das verkehrte Bild B des ganzen Schiffes schweben, über welchem sich ein gerades Bild C ebendesselben zeigte, beide durch einen Streif der See v w von einander ge-

Fig 393.

1 Aus Philos. Trans. 1799. p. 13. in G. IV. 129.

Digitized by Google

trennt, welcher deutlich als Wasser kenntlich war. Als das Schiff sich näherte und höher über den Horizont kam, verschwand zuerst das Bild C allmälig, bis nichts mehr davon zu sehn war, darauf verschwand auch der Streif v w und das Bild B senkte sich herab, doch nicht so tief, dafs die Mastspitze desselben die in a befindliche berührte, weil das Schiff hierfür nicht hoch genug über den Horizont kam. Unter die seltenern Erscheinungen gehört die, dafs Vince durch das Fernrohr, welches er auf ein entferntes Schiff gerichtet hatte, dieses selbst A mit allen seinen Theilen sehr deutlich auf der Wasserfläche x y sah, über demselben aber ein ganz gleiches, jedoch verkehrtes Bild B erblickte, dessen Hauptmast mit dem des erstern zusammenfiel und wobei zu oberst sogar ein Theil des Wassers sichtbar war. Das Schiff bewegte sich längst dem Horizonte hin, das verkehrte Bild begleitete dasselbe, ohne dafs diese Bewegung die Erscheinung änderte. Auf gleiche Weise wurden zwei Bilder, ein gerades und ein verkehrt darüber schwebendes, erzeugt, als Vince sein Fernrohr auf ein Schiff richtete, welches nicht ganz über den Horizont heraufkam und im Hintergrunde die stark von der Sonne beschienenen Klippen A B hatte. Das Schiff C bewegte sich mit seinem Bilde D, ersteres blieb unter dem Horizonte, und letzteres veränderte seine Gestalt nicht, selbst als das Schiff vor den Klippen vorbeigesegelt war, die sich nicht doppelt zeigten.

Fig. 394.

Fig. 395.

Es würde zu weit führen, noch mehrere der hierüber vorhandenen zahlreichen Beobachtungen oder gar sie alle mitzutheilen[1], und es genügt vielmehr im Allgemeinen zu bemerken, dafs sie sich insgesammt unter drei Classen ordnen lassen. Zu der erstern gehören die vielen Erscheinungen, dafs Gegenstände, die zu weit entfernt sind, als dafs sie wegen der Krümmung der Erde sichtbar seyn sollten, für kurze Zeit über den Horizont empor kommen und gesehn werden. Meistens erscheinen sie dann zugleich viel näher und ungleich gröfser, als sie wirklich sind. Die Seefahrer gewahren diese Erscheinungen häufig in den nördlichern Gegenden, auf dem Lande kommt das Phänomen nicht selten vor und namentlich

1 In Gilbert's Ann. d. Phys. findet man fast alles hierher Gehörige in einzelnen Abhandlungen ausnehmend vollständig.

gehören zu dieser Classe die oben erzählten Wahrnehmungen von Latham, desgleichen was Cranz[1] erzählt, dafs von Godhaab aus die etwa zwei Meilen entfernten Küsten ungleich gröfser und ganz anders gestaltet erscheinen, als sie wirklich sind. Zur zweiten Classe gehören die Luftspiegelungen, wobei entfernte Gegenstände nicht sowohl höher, als hauptsächlich von Wasser umgeben scheinen. Dieses beobachteten unter andern Büsch und Gruber, die französischen Truppen in Aegypten, und überhaupt zeigt sich das Phänomen häufig über weiten Ebenen, wenn diese anhaltend von der Sonne beschienen werden und eine bedeutend erwärmte Luftschicht über ihnen ruht. Hierher gehören dann auch die Phänomene, die Erdmann[2] zahlreich in den Steppen des Saratow'schen und Astrachan'schen Gouvernements wahrnahm, indem nach allen Seiten hin Erhöhungen, fernen Wäldern gleich, über den scheinbaren Horizont hervorragten und von der Erdfläche durch einen dazwischen befindlichen Nebelstreif getrennt waren, Pfahle und Bäume aber im Wasser zu stehn schienen. Die Erscheinung findet eine leichte Erklärung, wenn man berücksichtigt, dafs unter den durch irdische Strahlenbrechung scheinbar emporgehobenen Gegenständen der freie Himmel gesehn wird, welcher dann das Bild des Nebels oder einer Wasserfläche erzeugt. Zur dritten Classe endlich gehören die mehr zusammengesetzten Erscheinungen der Erzeugung vielfacher Bilder, wonach die Gegenstände doppelt und sogar dreifach erscheinen. Man unterscheidet hiernach die Spiegelung aufwärts und die Spiegelung unterwärts, je nachdem aufser dem Objecte noch ein Bild desselben unter oder über demselben gesehn wird. Erscheinungen der letztern Art sind diejenigen, wie Vince einige beobachtet hat, die Spiegelung unterwärts kommt nach den Beobachtungen von Woltmann und Brandes nicht selten vor, minder häufig jedoch auf dem Lande, wo die ungleich erwärmten und meistens auch bewegten Luftschichten das gespiegelte Bild in ein Zittern versetzen, indem die Lichtstrahlen unordentlich durch einander geworfen werden. Ueber einer Wasserfläche dagegen sind die über einander ruhenden Luftschichten mehr gleichmäfsig erwärmt und somit kommen

---

1 Historie von Grönland. 2te Aufl. Th. I. S. 65.

2 G. LVIII. 1 ff.

Digitized by

die durch sie gehenden Lichtstrahlen regelmäfsiger in das Auge des Beobachters. Zur Versinnlichung der Sache dient die Zeichnung, in welcher A B die Horizontalebene vorstellt, auf welcher der Thurm E F ruht, den man in seiner wirklichen Gestalt erblickt und unter demselben sein durch irdische Strahlenbrechung entstandenes verkehrtes Bild. Hierbei ist angenommen, dafs der Thurm zu hoch sey, als dafs das Bild desselben unter den bestehenden Verhältnissen vollständig zu Stande kommen könnte, obwohl dieses unter andern Bedingungen geschehn seyn würde; es berühren sich daher die untersten Theile des Objectes und des verkehrten Bildes, in letzterem fehlt aber die oberste Spitze bei G. Hätte in diesem von Brandes nach wirklicher Beobachtung aufgezeichnetem Falle der Thurm blofs die Höhe bis an das Dach gehabt, so würde auch das Bild vollständig geworden, bei G aber ein Raum unter demselben zurückgeblieben seyn, wonach es dann geschienen hätte, als ob das Bild und das Object in der Luft schwebten oder vielmehr über einer Wasserfläche sich befänden. Man sieht hieraus, dafs diese Erscheinungen sich an die der zweiten Classe anschliefsen, denn mit zunehmender Vollständigkeit könnte hiernach der Thurm nicht blofs im Wasser zu stehn scheinen, wie bei dieser Art der Spiegelung der Fall ist, sondern auch ein verkehrtes Bild in diesem vermeintlichen Wasser erzeugen. Auch Blackadder[1] erwähnt, dafs die Spiegelung sowohl aufwärts als auch unterwärts häufig über der Fläche der See beobachtet werde, wenn auf eine kühle Nacht ein heifser Tag folgt und die Luft vorzugsweise ruhig ist, und er setzt hinzu, dafs während der ganzen Dauer dieser oft von ihm gesehenen Erscheinung eine deutlich hervortretende horizontale Linie in der Atmosphäre wahrgenommen wurde, die sich vom entferntesten sichtbaren Puncte der Küste von Fife bis zu der von Ost-Lothian erstreckte und die er für die Grenze zweier Luftschichten von ungleicher Dichtigkeit hält. Die Erhebung dieser Linie wechselte und mit ihr die Gestalt der erzeugten Bilder. Wenn sich dieselbe herabsenkte, wurde der Theil der Atmosphäre, welcher sich zwischen ihr und der See befand, zunehmend dunkler, erhellete sich aber wieder, wenn die Linie sich em-

Fig. 396.

1 Edinb. Phil. Journal Nr. XXV. p. 66.

porhob. Zu andern Zeiten senkte sich von dieser Linie eine zweite langsam herab, gleichzeitig wurde aber dann das Bild der gesehenen Insel May zuerst confus, trennte sich dann allmälig und erschien zuletzt doppelt, indem eins der gesehnen Bilder verkehrt war.

Die Ursache dieser verschiednen interessanten Erscheinungen suchte man fast allgemein in der irdischen Strahlenbrechung, oder in einer Abweichung der von den Objecten zum Auge gelangenden Lichtstrahlen von der geraden Bahn, wodurch nach optischen Gesetzen eine Verrückung der gesehnen Bilder herbeigeführt werden mufste, allein die Theorieen waren nicht alle gleich richtig und auf jeden Fall unvollständig. Huddart[1] leitete das Phänomen von der gröfsern Feuchtigkeit der über der See ruhenden Luftschichten ab; allein der Wasserdampf bricht die Lichtstrahlen genau oder nur unmerklich verschieden, als die Luft. Monge sieht gleichfalls die gröfsere Dünne der untern Luftschicht als die Ursache an und glaubt, dafs diese auf dem Lande durch die grofse Hitze, auf der See aber durch die Feuchtigkeit herbeigeführt werde. Ungleich vollständiger, auf eigene Versuche und Temperaturmessungen gegründet sind die Erklärungen von Gruber und Woltmann[2], auch hat Kries[3] den Gang der Lichtstrahlen in den von Vince beschriebenen Erscheinungen glücklich nachgewiesen, Wollaston[4] aber controllirte diese Phänomene sehr belehrend durch ähnliche, die sich zeigen, wenn man in geeigneten Gläsern ungleich dichte tropfbare Flüssigkeiten übereinander gieſst. Sehr gründlich und umfassend wurde das ganze Problem der irdischen Strahlenbrechung behandelt durch H. W. Brandes[5]. Ausnehmend reich an Beobachtungen und sinnreichen Bemerkungen über die Beschaffenheit der Luft, die für Phänomene dieser Art sich vorzüglich eignet, ist aufserdem die ausführliche Abhandlung Alexander's v. Hum-

---

1 Phil. Trans. 1797. p. 29.

2 G. III. 388. 400.

3 Ebend. LIII. 365.

4 Philos. Trans. 1800. p. 239.

5 Beobachtungen und theoretische Untersuchungen über die Strahlenbrechung. Oldenb. 1807. 4.

BOLDT[1] über diesen Gegenstand. Handelt es sich aber um eine durchaus vollständige und gründliche Entwickelung der ganzen Theorie dieser Phänomene, worin die sämmtlichen Erscheinungen berücksichtigt und genügend erklärt werden, so darf man sagen, dafs BIOT[2] dieser Aufgabe völlig Genüge geleistet habe. Für diese gründliche Bearbeitung sind die oben erwähnten Beobachtungen, hauptsächlich aber diejenigen benutzt worden, welche v. HUMBOLDT in America und LE GENTIL theils in Indien, theils an den Küsten der Normandie angestellt haben, zugleich aber wurden die Resultate zahlreicher Beobachtungen und Versuche in Anwendung gebracht, welche BIOT und MATHIEU zu Dünkirchen anzustellen Gelegenheit hatten, als sie sich der bekannten französischen Gradmessung wegen dort aufhielten. Die Nähe des Meeres gab ihnen Gelegenheit, bei verschiedener Höhe des Auges die Depressionen des Seehorizontes mit einem Vervielfältigungskreise zu messen, um den Einfluss von Temperaturveränderungen der Luft und des Meeres auf die Bahn der Lichtstrahlen zu bestimmen. Aufserdem nahmen sie fast täglich auf dem Strande, über welchem ungleich erwärmte Luftschichten ruhten, die oben zur zweiten Classe gerechneten Luftspiegelungen wahr, indem Kirchthürme, Häuser, Hügel und sonstige Gegenstände so täuschend im Wasser zu stehn und sich darin zu spiegeln schienen, dafs beide Gelehrte sich kaum überwinden konnten, dieses für einen blofsen Schein zu halten. Oft schickten sie Menschen mit Signalstangen dorthin, die dann zunehmend tiefer in dieses scheinbare Meer einzutauchen schienen, bis endlich sie und ihr Bild verschwanden. Zugleich bestimmten sie die Temperaturen der Luft in verschiedenen Höhen über dem Boden, die Vertiefung des scheinbaren Horizontes und der Gegenstände und die Entfernungen derselben vom Auge des Beobachters, nivellirten den Boden und zeichneten die Gestalt der gespiegelten Gegenstände und ihrer Bilder genau auf, um hierdurch die Bahn des Lichtstrahls in den ungleich erwärmten Luftschichten mit Sicherheit zu bestimmen.

---

1 Essay sur les Réfractions astronomiques dans la zone torride. Lu à la 1e Classe de l'Institut. Févr. 29. 1808. Par.

2 Recherches sur les Réfractions extraordinaires, qui ont lieu près de l'horizon. Par. 1810. 4. Auch in Mém. de l'Institut pour 1809. Im sehr vollständigen Auszuge von BRANDES in G. XLVII. 237.

Biot erwähnt bei dieser Gelegenheit ein verwandtes Phänomen, welches er selbst nebst Arago in Spanien zu beobachten Gelegenheit hatte. Auf dem Berge Desierto de las Palmas in Valencia, 727 Meter über der Meeresfläche, sahen sie das Licht der Reverberen, die auf dem Berge Campvey der Insel Yviza in 420 Meter Höhe und 161008 Meter Entfernung von dieser Station als Signale brannten, im Fernrohre zuerst als einfachen Stern, nachher aber kam noch ein zweites, höher liegendes und mehr dilatirtes Bild hinzu, ja sie nahmen mitunter aufser dem eigentlichen Bilde noch ein zweites, ein drittes und sogar ein viertes, sämmtlich in einer verticalen Ebene liegend, wahr, indem diese durch Refraction entstandenen Nebenbilder abwechselnd bald erschienen, bald wieder verschwanden. Hierbei verdient die Bemerkung besonders beachtet zu werden, dafs das eigentliche Licht sich zuweilen zu einer kleiner Feuersäule zu verlängern schien, die sich dann plötzlich in zwei Theile theilte, so dafs zwei Bilder entstanden, die sich auf gleiche Weise mehrmals wieder vereinigten und trennten, wobei das obere merklich grün, das untere dagegen roth war. Eine solche Farbenzerstreuung gehört unter die Seltenheiten, jedoch erwähnt auch Herschel[1], sie bei der Beobachtung der Doppelsterne wahrgenommen zu haben.

Da sich die Hülfsmittel der Analyse, wodurch Biot die Trajectorien oder die krummen Bahnen des Lichtstrahls in den ungleich brechenden Luftschichten aufgefunden hat, nicht wohl in einem kurzen Auszuge mittheilen lassen, so beschränke ich mich auf die blofse Angabe der erhaltenen Resultate[2]. Wenn man auf die Art, wie durch Wollaston wirklich geschehn ist, in ein Gefäfs ABCD unten eine dichtere Flüssigkeit, z. B. Schwefelsäure giefst, alsdann vorsichtig Wasser darüber bringt, so dafs durch allmäliges Eindringen der Säure von unten nach oben horizontale Schichten von abnehmender Dichtigkeit entstehn, so wird ein Object in E durch die untere gleichmäfsig dichte Schicht einen geraden Lichtstrahl nach O in das Auge des Beobachters senden, ein anderer aber wird beim Ueber-

Fig. 397.

1 Nach einer Anmerkung von Brandes aus Catalogue of double Stars 1785. p. 52.

2 Vergl. Biot Traité de Phys. T. III. p. 318 ff.

Digitized by Google

gange in die Schichten von abnehmender Dichtigkeit stets mehr vom Perpendikel abgebrochen, kann dadurch zuletzt horizontal werden, wieder in die Schichten eindringen und also vermittelst einer krummen Trajectorie in das Auge bei O gelangen, so dafs dieses also gleichzeitig zwei Bilder wahrnimmt. Sieht man im heifsen Sommer über eine geschwärzte, von der Sonne beschienene Fläche hin, über welcher sich Luftschichten von nach oben zunehmender Dichtigkeit befinden, so kann über ihnen eine nach unten gekrümmte Trajectorie entstehn und ein etliche hundert Fufs entfernter Gegenstand kann ein doppeltes Bild, ein oberes durch die in gerader Richtung fortgehenden Lichtstrahlen, ein zweites unteres durch die in krummer Linie bewegten, erzeugen. Das letztere Bild mufs ein verkehrtes seyn, die Erscheinung im Ganzen aber, die sich auch durch eine glühende Barre Eisen erzeugen läfst, ist die entgegengesetzte der so eben erwähnten, dem Wesen nach aber genau diejenige, die sich häufig bei der angegebenen zweiten Classe der Luftspiegelungen zeigt, wenn das Object selbst gerade gesehn wird, die von dem hinter ihm liegenden Himmel ausgehenden, in einer krummen Trajectorie sich fortpflanzenden Lichtstrahlen aber das Bild des unter ihm liegenden Wassers erzeugen, in welchem das auf gleiche Weise vom Objecte entstandene verkehrte Bild sich zu spiegeln scheint. Auch über dem Meere werden die Luftschichten erhitzt, noch weit stärker aber über sandigen Ebenen, weswegen diese Spiegelung ungleich häufiger und auffallender auf solchen Ebenen, als auf dem Meere beobachtet wird[1]. In diesen Fällen ist nach der mathematischen Demonstration von Biot AB die horizontale Linie, die einander folgenden Trajectorien aber, welche vom Auge des Beobachters in D ausgehn, schneiden sich in den Wendepuncten ihrer Krümmung und bilden so eine Brennlinie (*Caustica*) L T, so dafs alle unterhalb T liegende Lichtstrahlen nicht mehr zum Auge gelangen, D L S aber wird von Biot die Grenz- Fig. 898.

1 Dieses stimmt mit den oben erwähnten Angaben von Brandes und Woltmann nicht überein, wonach Wasserflächen zur Erzeugung dieser Phänomene geeigneter sind. Der Widerspruch verschwindet, wenn man berücksichtigt, dafs für die letztern Gelehrten der ruhige Spiegel der Elbe, für Biot aber das sandige Meeresufer eine günstigere Oertlichkeit darbieten mufsten.

Digitized by Google

Trajectorie (*Trajectoire limite*) genannt, welche den Boden berührt und ihren Namen daher erhält, weil sie die Grenze der Höhe angiebt, bis wohin die Umkehrung des Bildes reicht. Alle über ihr liegende Puncte des Objects können nur ein gerades Bild ins Auge des Beobachters senden, die aus dem Raume SLT aber senden zwei Bilder, ein oberes gerades und ein unteres verkehrtes, die aus dem Raume TLB gelangen aber gar nicht ins Auge und ein Mensch, welcher sich zunehmend weiter entfernt, wird also nach und nach die in der Zeichnung auf einander folgenden Gestalten annehmen. Fig. 899. Ist die Ebene hinlänglich ausgebreitet und sind geeignete Objecte in genügender Entfernung vorhanden, so dafs die nur geringen Krümmungen der Trajectorien hierdurch nicht ohne Wirkung bleiben, so bedarf es nur der Temperaturunterschiede von etwa 2 oder 3 Cent. Graden, um die ruhig über einander liegenden und ungleich erwärmten Luftschichten zur Erzeugung dieser Erscheinungen geeignet zu machen. Zuweilen scheinen entfernte Gegenstände einfach in der Luft aufgehangen und ihr gerades Bild ist mit keinem andern anscheinend verbunden, was man im Französischen *Suspension* nennt. Biot zeigt, dafs dann das zweite verkehrte Bild gleichfalls vorhanden, aber zu schwach ist, um wahrgenommen zu werden, welche Ansicht damit übereinstimmt, dafs die mit bloßsen Augen nicht sichtbaren Bilder zuweilen bei der Anwendung eines Fernrohrs wirklich zum Vorschein kommen.

7) Fata Morgana.

Vermuthlich gehört auch die seit älteren Zeiten berühmte Fata Morgana unter die durch irdische Strahlenbrechung erzeugten Erscheinungen. Sie wird an den Küsten Calabriens, vorzüglich zu Reggio, beobachtet und hat ihren Namen von einer in jenen Gegenden bekannten Fee, Morgana genannt, indem Fata Morgana so viel als Schlösser der Fee Morgana bedeuten. Die ältern Beschreibungen des Phänomens sind so, dafs man kaum umhin kann, etwas anderes, als Zaubergebilde anzunehmen. Facellus[1] erzählt: „Früh beim Beginn der „Morgenröthe sieht man bei stiller Luft verschiedene Figuren „von Menschen und Thieren, deren einige unbeweglich blei-

1 De rebus Siculis Dec. I. Lib. 2.

„ben, die meisten aber entweder in der Luft laufen oder mit „einander streiten; aber alles verschwindet, wenn die Sonne „empor kommt.“ Athanasius Kircher[1] hielt sich im J. 1636 einige Tage absichtlich zu Messina auf, um die Erscheinung zu beobachten, aber es glückte ihm dieses nicht und er beschreibt daher nur, was er von andern hörte. Wenn die Strahlen der Sonne die mamertinische See erhitzen, stellt die Natur eine unerschöpfliche Menge Malereien dar und zeigt diese hauptsächlich über dem Meere, welches die Bai von Reggio bildet. Dann öffnet sich in der dunstvollen Luft plötzlich ein Schauplatz sehr verschiedener Dinge mit so vielen Aufzügen, dafs es wohl kaum etwas in der Natur giebt, was hier nicht gesehn würde. Es erscheinen in Ordnung aufgestellte Festungen, Paläste und zierliche Häuser, eine unzählbare Menge Säulen in Reihen, Cypressenhaine, Landschaften mit Menschen erfüllt, grofse und kleine Heerden, alles mit einer solchen Verschiedenheit der Farbe, mit so künstlicher Mischung von Licht und Schatten und so lebendigen Gebehrden, dafs wenigstens menschliche Kunst nichts Gleiches hervorzubringen vermag. Noch abenteuerlicher und geradezu auf Zauberei deutend klingt ein von Kircher aufgenommener Brief des Jesuiten Ignatius Angelucci, worin es heifst: „Das Meer, welches an Sicilien stöfst, schwoll in ei„ner Länge von 10 ital. Meilen zur Gestalt eines grofsen Ber„ges auf, etwas von Calabriens Küste wurde in einem Au„genblicke in einen durchsichtigen Krystall verwandelt, wel„cher wie ein Spiegel aussah und mit der Spitze den be„schriebenen Wasserberg berührte, während er mit dem Fufse „auf dem übrigen Calabrien ruhte. In diesem Spiegel zeigte „sich sodann eine Reihe Säulen von etwas bleicher Farbe, „wohl über 10000 an der Zahl, alle gleich hoch und gleich „weit von einander. Im Augenblick verschwanden diese und „verwandelten sich in Canäle oder Wasserleitungen, wie die „zu Rom, und oben auf dem runden Bogen, wo die Canäle „waren, gestaltete sich eine Sammlung von allerhand Figuren „und Säulen. Ueber diesen zeigten sich auf einem freien „Platze grofse Schlösser, alle von einerlei Gestalt und Farbe, „zwischen denen sich eine Menge Thürme von gleicher Be-

1 Ars magna lucis et umbrae. P. II. c. 1.

„schaffenheit befanden. Letztere verwandelten sich in einen „auf Säulen ruhenden Schauplatz, welcher sich nach allen „Seiten hin ausbreitete und dann verschwand, indem eine Men„ge Bäume an seine Stelle traten. Alles dieses verschwand und „wurde zu Meer, wenn ein sanfter Wind über die Fluthen „wehte.“ Man übersieht bald, dafs es vergebliche Mühe seyn würde, solche Erscheinungen aus Naturgesetzen zu erklären, wenn man annehmen müfste, dafs Angelucci sie wirklich gesehn und gewissenhaft berichtet hätte.

Inzwischen hat die Fata Morgana auch noch in neuern Zeiten das Schicksal gehabt, von einem Augenzeugen, dem Dominicaner Antonio Minasi[1], mit übertriebenen Farben geschildert zu werden. Dieser erzählt: „Wenn am Morgen die „Sonne so hoch gestiegen ist, dafs ihre Strahlen ungefähr in „einem Winkel von 45° auf die See bei Reggio fallen, und „weder Wind noch Strömung den hellen Wasserspiegel be„wegt, so zeigen sich dem auf einem erhabenen Orte in der „Stadt befindlichen Beobachter, welcher den Rücken ge„gen die Sonne gewandt auf das Meer blickt, plötzlich im „Wasser, wie auf einem katoptrischen Theater, mannigfaltig „vervielfältigte Gegenstände, z. B. lange Reihen von Pfeilern „und Bogen, Paläste mit Fenstern und Thürmen, ausgedehnte „Alleen von Bäumen, grofse mit Heerden bedeckte Ebenen, „ganze Schaaren von Fufsvolk und Reitern und eine Menge „anderer seltsamer Bilder, sämmtlich in natürlicher Farbe und „Haltung, welche während der kurzen Zeitdauer der angege„benen Bedingungen sich schnell nach einander über die Ober„fläche der See hin bewegen. Ist unter den angegebenen Um„ständen die Luft stark mit Dünsten erfüllt, welche weder „durch Wind, noch durch Wellen und Sonnenwärme verjagt „und verdünnt werden, so dafs sie gleich einem Vorhange „dicht über der See, etwa 30 Palmen hoch, längst der Meer„enge stehn, so erblickt man jene Scenen nicht blofs im Spie„gel der See, sondern auch in diesen Dünsten, wiewohl min„der deutlich und bestimmt. Wenn aber endlich die Luft „feucht, neblig und dunkel, etwa einen Regenbogen zu bil-

---

1 Dissertazione sopra un fenomeno volgarmente detto Fata Morgana cet. A sua Eminenza il Sign. Cardinale di Zelada. In Roma 1773.

Digitized by Google

„den geschickt ist, so zeigen sich die Gegenstände zwar blofs „auf dem Spiegel der See, aber insgesammt mit prismatischen „Farben erleuchtet oder mit rothen, gelben und andern Rän„dern umgeben.“

So beschreibt Minasi diese Erscheinungen, die er dreimal beobachtet haben will und wovon er so entzückt wurde, dafs er sie weit über jede theatralische Vorstellung setzt. Wäre indefs diese Erscheinung in der Art wirklich so vorhanden, als hier angegeben wird, und zeigte sie sich so häufig, dafs Minasi dieselbe dreimal mit ihren verschiedenen Modificationen beobachten konnte, so müfste sie auch in den neuesten Zeiten von genauern Beobachtern wahrgenommen worden seyn. Allerdings erwähnen neuere Reisende, z. B. Pilati[1], Brydone[2] und Sestini[3], dafs sie Phänomene in jenen Gegenden gesehn haben, die zur Luftspiegelung gehören, und auch Seume beobachtete etwas Aehnliches vom Aetna herab, allein alles dieses gehörte nicht zu unerklärbaren Wundern, wie die oben beschriebenen wirklich sind. Es würde daher vergebenes Bemühen seyn, jene Erscheinungen erklären zu wollen; weit wahrscheinlicher dagegen ist es, mit Brandes[4] anzunehmen, dafs die ganze Sache, mit Ausscheidung alles dessen, was eine italienische Phantasie und insbesondere der Hang zum Ungewöhnlichen und Wunderbaren hinzugesetzt hat, nichts weiter als eine Luftspiegelung aufwärts ist, wodurch die Stadt Messina und die Umgegend eine Zeit lang sichtbar wird. Will man aufserdem auf die Angabe Minasi's, wonach eigenthümliche Bilder in dem auf der Wasserfläche ruhenden Nebel erzeugt wurden, einigen Werth legen, so liefse sich annehmen, dafs hierbei eine eigentliche Spiegelung statt gefunden habe, die keineswegs unmöglich, wenn gleich selten ist[5]. Mir sind nur zwei ausgezeichnete Beispiele einer solchen auffallenden Spiegelung bekannt, vermuthlich weil minder bedeutende Erscheinungen nicht aufgezeichnet wurden; beide verdienen aber wegen Seltenheit der Sache und zur Vergleichung künftiger ähnlicher Beobachtungen ausführlich mitgetheilt zu werden.

---

1 Voyages en différ. pays de l'Europe. Hag. 1777. p. 220.
2 Reisen durch Sicilien. Aus d. Engl. Leipz. 1774.
3 Briefe aus Sicilien. 1781. S. 22.
4 G. XVII. 198.
5 Vergl. Art. *Spiegel.*

Buchan[1] erzählte: „Ich wandelte auf den Klippen, die „ungefähr eine (engl.) Meile östlich von Brighthelmstone lie„gen, Morgens bei Sonnenaufgang, und sah die Gestalt des „Felsens, auf welchem ich stand, mir gerade gegenüber in ei„niger Entfernung auf dem Oceane abgebildet. Mein Gefährte „wurde nebst mir bald gewahr, wie unsere beiderseitigen Ge„stalten auf der uns gegenüber liegenden Klippe zu stehn schie„nen, und ebenso das Bild einer nahe gelegenen Windmühle. „Die reflectirten Bilder waren am deutlichsten genau dem Puncte „gegenüber, wo wir standen, die gespiegelte Klippe wurde „aber an der westlichen Seite matter und schien der wahren „näher zu treten. Die ganze Erscheinung dauerte ungefähr 10 „Minuten oder so lange, bis die Sonne sich um ihren Durch„messer über den Horizont erhoben hatte; das Ganze schien „sich dann in die Luft zu erheben und verschwand nach Art „eines Vorhangs im Theater, welcher aufgezogen wird. Der „Horizont war wolkig oder vielmehr die Oberfläche der See „war mit einem dichten Nebel bedeckt, mehrere Ellen hoch, „welcher allmälig vor den Strahlen der Sonne zurückwich."

Als ein zweites Beispiel einer deutlichen *Spiegelung* im Nebel ist das sogenannte *Brockengespenst* zu betrachten, welches Silberschlag[2] beschreibt: „Etwa 14 Tage nach Michae„lis, bei einem prächtigen Untergange der Sonne, den ich auf „dem Brocken genofs, zeigte sich, als die Sonnenscheibe un„ter den Horizont hinabzusinken anfing[3], nach Osten hin plötz„lich der Schattenrifs des Brockens, vielmal gröfser, als der „Berg selbst ist, in der Gegend von Halberstadt schwebend. „Alles stand so deutlich im Nebel abgezeichnet vor Augen, „dafs man das Haus, die Anwesenden und jede ihrer Bewe„gungen genau unterscheiden konnte. In der Tiefe des ebe„nen Landes war schon Nacht und aus ihr schien dieses color„sale Phantom aufzusteigen, dessen Contur sich mit Farben „des Abendroths abschnitt. Nach Untergang der Sonne ver„schwand dieses Bild, das im Sommer gar nicht und auch „im Herbste nur selten gesehn wird; die dünnen Nebel, die

1 Nicholson's Journ. T. XIV. p. 340.

2 Geogenie. Th. I. S. 139.

3 Diese Spiegelung ist also, wie auch Minasi bei der zu Reggio gesehenen Erscheinung andeutet, durch den Stand der Sonne im Horizonte bedingt.

Digitized by Google

„an den Herbstabenden aufsteigen, fingen das Schattenbild „auf[1].“

Eine der Beschreibung nach der Fata Morgana sehr ähnliche Erscheinung, die auf jeden Fall zur Luftspiegelung gehört, ist in Mittelindien allgemein bekannt. Sie heifst zu Maroo, wo sie nur in kalten Jahreszeiten vorkommt, *See-kote*, in der westlich gelegenen Wüste nennt man sie *Chittram* (das Bild), in den Ebenen von Chumbal und Jumna aber *Dessa-sur* (Vorbedeutung des Obdaches), in der arabischen Wüste hat sie den Namen *Sehrab*. Alle diese Benennungen bezeichnen das nämliche oder doch verwandte Phänomene und auf jeden Fall wird die See-kote von Tod Rajast'han[2] ganz so, wie die Fata Morgana von neuern Reisebeschreibern beschrieben.

M.

Strom.

Flufs; *Fluvius*, *Flumen*; *Amnis*; Fleuve, Rivière; *River*, *Stream*.

Die Ausdrücke *Strom und Flufs* werden oft als gleichbedeutend genommen, jedoch wird der Name *Strom* blofs den gröfseren beigelegt, statt dafs es unbestimmt ist, wie klein die Menge des fliefsenden Wassers seyn müsse, die man noch mit dem Namen eines *Flusses* bezeichnet. Genauer genommen sind jedoch die Bedeutungen dieser Worte allerdings in einem gewissen Grade festgesetzt. Wenn nämlich das Wasser einer starken Quelle oder das aus mehreren Quellen oder das in Thälern sich sammelnde in einem schmalen Canale abfliefst, so nennt man dieses einen *Bach* oder wohl ein Flüfschen, wächst die Menge des Wassers durch Vereinigung mehrerer und wird der Zwischenraum zwischen den Ufern breiter, so heifst dieses ein *Flufs*, und dieser Name wird beibehalten, wie grofs auch die Wassermenge werden mag, selbst dann,

---

1 Aehnliche Erscheinungen wurden am 16. Juli, also mitten im Sommer, zu Huntingdonshire beobachtet. Ann. of Philos. T. XVI. p. 149.

2 Asiatic Journ. and Monthly Register. 1829. Sept.

wenn sie sich in das Meer ergiefst; dann aber heifst er auch Strom, welcher letztere Ausdruck jedoch nur dann gebraucht wird, wenn die Ergiefsung in die See statt findet. So nennt man den Rhein und die Donau grofse Flüsse; ja man redet sogar vom Amazonen-Flusse, jedoch heifsen diese auch Ströme; aber nie wird man z. B. den Main einen Strom nennen. Inzwischen kann die Feststellung der Wortbedeutung, die im Sprachgebrauche einmal nicht scharf bestimmt ist, hier gleichgültiger seyn, da es blofs darauf ankommt, die wesentlichsten physikalischen Eigenschaften der Flüsse zu erörtern.

Die Flüsse erhalten ihr Wasser aus irgend einer Quelle, die ihren Ursprung bildet, oder aus natürlichen Wasserbassins, die entweder durch unterirdische Quellen oder durch das von umgebenden Bergen sich sammelnde Wasser gespeiset werden. Der Natur der Sache nach müssen diese hoch liegen, damit das Wasser durch seinen Fall auf der geneigten Ebene dem Meere zufliefse. Der Ursprung der meisten Flüsse und mindestens der gröfseren ist in Gebirgen, der Ströme in hohen, meistens Eisgebirgen, weil dort die gröfste Regenmenge ist, das Wasser weniger in die Erde dringt und insbesondere der Schnee sich in den Schluchten sammelt, um auch während der heifsen Jahreszeit die Quellen reichlich zu speisen. So erhalten der Rhein, die Rhone, der Po ihr Wasser aus den Alpen, die Etsch aus den Tyroler Bergen, und die Donau, an sich ein kleiner, auf der Höhe des Schwarzwaldes entspringender Flufs, wächst zu enormer Gröfse durch die Flüsse, die aus den Tyroler Alpen kommend sich in sie ergiefsen, der mächtige Ganges kommt aus den Himalaya-Gebirgen und die Riesenströme Plata, Orinoco und Amazonen-Strom aus den Hochgebirgen, hauptsächlich den Cordillieren America's. Merkwürdig ist, dafs es sogar in der nördlichen Polarzone Ströme giebt, die ihr Wasser jedoch vom geschmolzenen Eise erhalten, weil es dort keine Quellen geben kann. Dahin gehören namentlich der Barrow und Crozier auf der Insel Melville und der Gifford auf der Insel Cockburn. Der Barrow ist nach einem Laufe von etlichen englischen Meilen 200 Yards und an seiner Mündung 500 Yards breit, mit ungewöhnlich üppiger Vegetation an seinen Ufern; er hat aufserdem einen Wasserfall von 40 Fufs Breite und einem nicht unterbrochenen, fast

lothrechten, 90 Fufs hohen Sturze. Der Gifford ist 15 engl. Meilen von seiner Mündung an 1,5 engl. Meilen breit[1].

Hügel, Berge und Hochgebirgszüge bilden daher die Grenzscheidungen zwischen der Richtung des fliefsenden Wassers, und indem die kleineren Bäche sich in die gröfseren Flüsse, diese dann in die Ströme ergiefsen, sammeln die letzteren zuletzt alles zu einer gröfseren oder geringeren Länderfläche gehörige Wasser, und man nennt diese dann ein *Stromgebiet*, welches durch stets niedriger werdende Bergrücken abgeschieden zu seyn pflegt, bis nicht weit von der Mündung, wo die Ströme ihr Wasser meistens durch flache Gegenden dem Oceane zuführen. So hat man das Flufs- oder Stromgebiet des Rheins, der Donau, des Po, des Obi, des Mississippi u. s. w. Dafs einige grofse Ströme, namentlich die Wolga, die Selenga und andere, sich nicht in das Meer, sondern in Seen ergiefsen, ist als eine Merkwürdigkeit bereits erwähnt worden[2], auch verdient nur beiläufig bemerkt zu werden, dafs einige Ströme, als der Rhein, die Rhone und andere Flüsse, durch Seen fliefsen, in welcher Beziehung sich namentlich die nordamericanischen Seen vorzüglich auszeichnen.

Die Frage über die Menge des Wassers, welche ein Strom dem Meere zuführt, erhielt ein vorzügliches Interesse, als es darum galt, zu entscheiden, ob über einem Flufsgebiete durch die Hydrometeore so viel Wasser herabfalle, als in den Flüssen abfliefst, allein schon Mariotte's Messungen und Berechnungen ergaben einen so grofsen Ueberschufs der ersteren Gröfse über die letztere, dafs hieran seitdem gar nicht mehr gezweifelt wird. Sie würde sich leicht beantworten lassen, wenn man das Querprofil der Flüsse und die mittlere Geschwindigkeit ihres Fliefsens kennte, allein abgesehen davon, dafs beide Gröfsen in den verschiedenen Jahreszeiten so ausnehmend ungleich sind, kann zwar der Querschnitt durch bekannte Methoden der Messung ohne grofse Schwierigkeit genau aufgefunden werden, die Geschwindigkeit des Fliefsens aber, deren Ausmittelung noch obendrein zur Bestimmung des Widerstandes, welcher den Schiffen hierdurch erwächst, oder der erfor-

---

1 Journ. of a third Voyage for the discovery of a North-West Passage cet. Under the orders of Capt. Parry. Lond. 1826. 4. p. 134.

2 S. Art. *See*.

Digitized by Google

derlichen Zeit des Herabschwimmens der Schiffe von Wichtigkeit ist, kann nicht blofs überall nur mit Mühe aufgefunden werden, sondern ist auch in den einzelnen Fäden des strömenden Wassers so ungleich, dafs man nur mit Mühe und mit geringer Sicherheit zu einem ungefähren Mittel gelangt. Da das Wasser der Flüsse auf der geneigten Ebene fällt, so müfste sich hiernach aus der bekannten Höhe ihres Ursprungs die Fallgeschwindigkeit finden lassen, allein die Hindernisse hierbei, die namentlich aus der Adhäsion des Wassers unter sich und an den Ufern, aus der Unebenheit des Bodens und insbesondere aus den zahlreichen Krümmungen entstehen, wodurch meistens die ganze erlangte Geschwindigkeit wieder aufgehoben wird, sind so grofs, dafs nicht einmal diejenigen Flüsse in den untersten Strecken die gröfste Geschwindigkeit haben, die ursprünglich von den gröfsten Höhen herabkommen. So fliefst die Donau schneller als der Rhein und Po, obgleich die Quellen der letzteren eine gröfsere Höhe haben, die Loire hat nach Picard dreimal mehr Fall, als die doppelt so geschwind fliefsende Seine. Unter die schnellsten Flüsse gehören der Tigris, der Indus und die Donau, im Allgemeinen aber kann man nur sagen, dafs die Flüsse an denjenigen Stellen am schnellsten fliefsen, wo sie den gröfsten Fall bei den wenigsten Krümmungen haben und wo ihre Ufer am nächsten beisammen sind; Stromschnellen abgerechnet beträgt die mittlere Geschwindigkeit der Ströme nur zwischen 2 bis 3 Fufs in einer Secunde und steigt selten bis oder über 5 Fufs, indem diese nur dann statt findet, wenn die Ufer auf eine beträchtliche Länge grade und parallel sind, wie z. B. bei der Salzach, wo eine Geschwindigkeit von 7,09 und 5,07 Fufs gemessen wurde [1].

Es kann hier nicht der Ort seyn, die beim fliefsenden Wasser in Betrachtung kommenden Gesetze theoretisch und praktisch vollständig zu untersuchen [2], die ohnehin nur bei regelmäfsig gebauten offenen Canälen Anwendung finden, nicht aber auf Flüsse, wegen der vielen und stets wechseln-

---

1 V. Wiebeking, prakt. Anleit. zur Wasserbaukunst. Bd. II. S. 358.

2 S. v. Langsdorf Ausführliches System der Maschinenkunde. Heidelb. 1826. 4. Bd. I. S. 156., wo man auch die weiteren literärischen Nachweisungen findet.

den, nicht scharf bestimmbaren Hindernisse, und ich mufs mich daher nur auf allgemeine Andeutungen der Hauptsachen beschränken[1].

Fall oder *Gefälle* eines Flusses heifst die Tangente eines Winkels, welchen sein Spiegel mit einer horizontalen Ebene bildet. Man giebt diese Gröfse aber nicht im Allgemeinen an, sondern für ein bestimmtes Längenmafs, wozu man 100 Lachter angenommen hat, und man sagt also: das mittlere Gefälle des Stromes zwischen zwei gegebenen Puncten ist n Zoll. So hat z. B. die Moldau zwischen Budweis und Prag bei einer Länge von 100800 Klaftern im Ganzen 627,5 Fufs Fall, also auf 100 Klafter ein mittleres Gefälle von 7,5 Zoll. Da das Gefälle sich mit dem Wasserstande ändert, so ist man übereingekommen, die mittlere Wasserhöhe als Regel anzunehmen, die man an eigends hierzu eingeschlagenen Pfählen (*Pegel*) mifst oder, da diese leicht vom Eise fortgerissen werden, an Masten, die in den Brückenpfeilern oder an den Quadern der gemauerten Ufer eingehauen sind. Die aus theoretischen Gesetzen abgeleiteten, und mit der Erfahrung übereinstimmenden Resultate über die Geschwindigkeit des Fliefsens sind folgende. Zuerst verhalten sich die Geschwindigkeiten umgekehrt wie die Querschnittsflächen des Flusses. Zweitens, bei verschiedenen Anschwellungen der nämlichen Flüsse verhalten sie sich wie die Quadratwurzeln aus den mittlern Tiefen. Drittens, die gröfste Geschwindigkeit bei einem gegebenen Flusse fällt mit seiner gröfsten Tiefe zusammen. Viertens, in Beziehung auf die einzelnen Längentheile, worin man sich einen Flufs getheilt denken kann, findet bei geraden oder mäfsig gekrümmten Ufern die gröfste Geschwindigkeit in der Mitte über der gröfsten Tiefe statt, und diese Abtheilung nennt man daher auch den *Stromstrich*, welcher hiernach also bei geraden Ufern in der Mitte, bei Krümmungen oder *Serpentinen* aber an der concaven Seite des Ufers liegt. Fünftens ist

1 Ich folge hierbei vorzüglich v. Gerstner's Handbuch der Mechanik. Prag 1832. 4. Bd. II. S. 881. Ueber die hierher gehörigen theoretischen Untersuchungen, die zuerst durch Mariotte und Guglielmini angestellt wurden, später hauptsächlich durch Dubuat, Prony und andere, findet man viele Nachweisungen von Navier in Ann. Chim. Phys. T. XLVI. p. 87.

im Allgemeinen die Geschwindigkeit des Fliefsens an der Oberfläche am stärksten und nimmt mit der Tiefe ab[1]. Selten fällt die obere Grenze des Querschnittes eines Flusses in eine gerade Linie, vielmehr wenn das Wasser steigt, so wird sie in der Mitte convex, wenn es aber fällt, so wird sie concav und Gegenstände vom Ufer fliefsen der Mitte zu. Ebenso ist es mit der Grenze eines Längenschnittes, die beim freien Abflusse convex wird, bei Aufstauungen aber concav[2]. Soll daher die mittlere Geschwindigkeit eines Flusses ausgemittelt werden, so müssen die Messungen in ungleichen Tiefen und an mehreren Stellen in der Mitte und an den Seiten geschehen, zu welchem Ende zuvor das Querprofil vermittelst einer getheerten Schnur, die man über den Flufs ausspannt, oder einer einvisirten Linie und mit Sondirstangen, an denen unten des Sandes wegen ein Bret befestigt ist, durch bekannte oder leicht aufzufindende geometrische Operationen ausgemessen wird.

Zur Messung der Geschwindigkeit[3] dienen verschiedene Apparate. Unter diesen sind die *Schwimmer* die einfachsten. Man bedient sich hierzu hohler kupferner Kugeln, deren specifisches Gewicht vermittelst eingebrachten Bleis oder Wassers so regulirt wird, dafs sie nur wenig über die Oberfläche des

---

1 Dieses Gesetz stimmt nicht mit der Behauptung einiger Flufsschiffer überein, wonach ein blofs durch das fliefsende Wasser getriebenes beladenes, also tiefer einsinkendes, Schiff schneller fahren soll, als ein unbeladenes. Die Richtigkeit dieser Thatsache müfste zuvor ausgemittelt werden, da das angegebene Gesetz keinem Zweifel unterliegt; denn unter andern sagt Robison in System of mechanical philos. Edinb. 1822. T. II. p. 396.: It is universally found, that the velocity of the surface in the middle of the stream is the greatest of all and that it gradually diminishes from thence to the bottom and sides.

2 So weit der Flufs seinen Lauf im Meere fortsetzt, ist er tiefer als das ihn einschliefsende Meer, weil er vermöge seiner beibehaltenen Geschwindigkeit dem andringenden Seewasser mit gröfserer Kraft widersteht.

3 Poncelet hat vorgeschlagen, die Geschwindigkeit des Fliefsens an der Oberfläche aus den Curven zu berechnen, die durch eine von oben herab hineingesenkte Spitze gebildet werden. Ann. Ch. Phys. T. XLVI. 19. Bis jetzt ist indefs dieses Mittel weder theoretisch noch auch aus der Erfahrung weiter bestimmt worden.

Digitized by Google

Wassers hervorragen; sie werden dann mit einem Korke verschlossen und mit einem hierin eingesteckten Zeichen versehn, um ihre Bewegung deutlicher beobachten zu können. Ihrer Anwendung steht entgegen, dafs dabei Windstille erfordert wird und dafs durch sie blofs die Geschwindigkeit an der Oberfläche ausgemittelt werden kann. Um diesem Fehler etwas zu begegnen, bediente sich von Wiebeking tannener Stäbe, durchaus mit Oelfarbe angestrichen, unten mit einer blechernen Kapfel versehn, die durch Blei so abgeglichen war, dafs nur ein Zwanzigstel der Stange aus dem Wasser hervorragte, welches eine kleine numerirte Fahne an einem Eisendrahte trug, und woran eine Schnur, mindestens doppelt so lang als die Flufstiefe, mit einem Schwimmer von Kork befestigt war, Ersteres um zugleich mehrere Stangen an verschiedenen Stellen des Flusses zu beobachten, Letzteres um die etwa sinkenden Stangen wieder aufzufinden. Solche Stangen können kürzer oder länger seyn, um die Geschwindigkeit in ungleichen Tiefen zu messen. Es dürfte nicht unnütz seyn, beide Apparate mit einander zu verbinden, also zum eigentlichen Mefs-Schwimmer eine grofse hohle Kugel zu nehmen, diese so zu beschweren, dafs sie im Wasser bis zu derjenigen Tiefe untersänke, in welcher die Geschwindigkeit gemessen werden soll, und wegen ihrer grofsen Oberfläche diese auch bleibend beibehielte, an diese Kugel aber einen dünnen Stab mit der Fahne zu befestigen, an dem das schneller fliefsende Wasser der Oberfläche leichter vorbei gleiten könnte. In jedem Falle mifst man vermittelst einer genauen Uhr die Zeit, in welcher der Schwimmer eine bestimmte Strecke zurücklegt, und erhält dann aus beiden Gröfsen die Geschwindigkeit.

Von dem beschriebenen Stabe unterscheidet sich der *Stab* des Cabeo blofs dadurch, dafs er von der Oberfläche des Wassers bis nahe an den Boden reichen soll, um bei überall gleicher Dicke die mittlere Geschwindigkeit des Flusses zu messen. Dabei zeigt es sich dann, dafs die Geschwindigkeit in ungleichen Tiefen wirklich verschieden ist, indem der Stab fast allezeit eine schräge Richtung annimmt, ein Resultat, welches schon Mariotte erhielt, als er zwei oder mehrere Kugeln von Wachs vermittelst eines Fadens vereinigte und fand, dafs allezeit die eine der andern vorauseilte. Beide Apparate finden aber darin ein grofses Hindernifs, dafs der untere Theil

leicht auf Unebenheiten des Flusses hängen bleibt, aufserdem aber werden beide fast stets von der Seite des Flusses in den Stromstrich getrieben und man kann daher nahe am Ufer nur auf kürzere Strecken messen.

Ein sehr brauchbares Werkzeug, die Geschwindigkeit des Wassers an jeder einzelnen Stelle und in jeder Tiefe zu messen, ist die *Pitot'sche Röhre*[1], eine blofse gläserne oder blecherne Röhre, oben auf jeden Fall von Glas, etwa einen halben bis einen ganzen Zoll im Durchmesser, unten bis zum rechten Winkel krumm umgebogen und mit einem Trichter versehen, dessen Seiten verlängert einen Winkel von ungefähr 60 Graden einschliefsen würden. Diese Röhre wird vermittelst einer geeigneten Vorrichtung an einer Leiste oder einem Pfahle (welcher letztere auf jeden Fall zugeschärft seyn mufs, um das Rückstauen des Wassers zu hindern) so in das Wasser herabgelassen, dafs der Trichter gegen den Strom gerichtet ist und also die Geschwindigkeit des Fliefsens das Wasser über das Niveau des Flusses aufsteigen macht. Um dem Fehler aus der Adhäsion des Wassers (der Capillarität) zu begegnen, senkt man neben der Mefsröhre eine andere von gleicher Beschaffenheit, aber eine gerade und unten gleichfalls mit einem gerade herabgehenden Trichter versehene bis zu gleicher Tiefe hinab, beobachtet dann den Unterschied der Wasserhöhen in beiden an einem zwischen ihnen befindlichen, in kleine Theile getheilten Mafsstabe und erhält die Geschwindigkeit des Fliefsens[2] vermittelst der Formel $V = 2\sqrt{g(h - h')}$, wenn h die Wasserhöhe in der Mefsröhre und h' in der Hülfsröhre, beide über dem Wasserspiegel, bezeichnen. Weil aber Hindernisse der Bewegung die strenge Anwendung dieser theoretischen Bestimmung bedingen könnten, so fügt man einen Coefficienten $= m$ hinzu, welcher durch Versuche mit Wasser von bestimmter Geschwindigkeit des Fliefsens ausgemittelt werden mufs und auf jeden Fall nicht viel von 1 verschieden ist; dadurch verwandelt sich die Formel in $V = 2\sqrt{\frac{g(h - h')}{m}}$. In der Anwendung steht blofs der Umstand entgegen, dafs die Gröfse

1 Mém. de l'Acad. 1732. p. 363.
2 S. *Hydrodynamik*. Bd. V. S. 546.

Digitized by Google

h meistens sehr klein ist und daher nicht gut gemessen werden kann. Ist z. B. m = 1 und V = 1 Fufs, so ist h — h' nur $\frac{1}{87}$ Fufs oder = 2,32 Linien.

Unter die ältern, vielfach gebrauchten und keineswegs verwerflichen Strommesser gehört der *Stromquadrant* oder das *hydrometrische Pendel*, ein Quadrant, dessen eine Seite vermittelst eines Senkels vertical über dem Flufsspiegel gehalten wurde, während ein aus dem Aufhängepuncte des Senkels herabhängender Faden mit einer Kugel am Ende, die in das Wasser herabhing, von diesem fortgestofsen wurde und der Winkel zwischen ihrem Faden und dem des Senkels die Mittel zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Fliefsens darbot. Seine jetzige Gestalt ist aus der Figur ersichtlich, ohne dafs diese eine weitere Erläuterung bedarf, auch bemerkt man sogleich, dafs hierbei die Röhrenlibelle das Senkel ersetzt. Auf der Seite der Basis des Dreiecks OM ist die Geschwindigkeits-Scale aufgetragen, die man auf folgende Weise findet. Die Kugel G würde in ruhigem Wasser vertical herabhängen; ihre verlängerte Fall-Linie ist GH, die verlängerte Linie ihrer Richtung ist GF oder die Diagonale, die durch die beiden Kräfte, nämlich ihr Gewicht und den Stofs des Wassers gegen ihre Oberfläche, gegeben wird. Beide Kräfte verhalten sich also wie GH zu HF oder wegen Aehnlichkeit der Dreiecke wie CO zu ON, die der Kürze wegen a:x heifsen mögen. Die Kugel fällt im Wasser nicht mit ihrem ganzen, sondern blofs mit dem Ueberschusse ihres Gewichts über das eines gleichen Volumens Wasser, und es sey demnach das Gewicht der im Wasser gewognen Kugel = M. Um die Kraft des Wasserstofses gegen dieselbe = K zu finden, darf man nur überlegen, dafs das Wasser aus einer Oeffnung in einem Gefäfse mit einer Geschwindigkeit ausströmt, als fiele es von der Höhe $h = \frac{V^2}{4g}$ herab, und dafs es daher gegen die dieser Oeffnung gleiche Fläche mit einer Kraft drückt, die einem Wasserprisma von der Grundfläche dieser Oeffnung und der Höhe vom Centrum dieser Fläche bis zum Wasserspiegel gleich ist. Ist also die Fläche der Kugel, gegen welche das Wasser stöfst, bei einem Halbmesser = r bestimmt, also $= r^2\pi = F$ und das Gewicht eines nach gleichem Mafse bestimmten Wassercubus = P, so ist

Fig. 400.

$$K = PF\frac{V^2}{4g}.$$

Die Kugelform ändert jedoch diesen Ausdruck ab und fordert einen Coefficienten m, welcher durch Versuche aufgefunden wird. Hiernach wird also

$$\frac{x}{a} = \frac{K}{M} = \frac{m.P.FV^2}{M.4g}, \text{ also } \frac{V^2}{4g} = \frac{x}{a} \cdot \frac{M}{m.P.F}.$$

Nach Extelwein[1] ist m = 0,7886, und da die übrigen Gröfsen im analytischen Ausdrucke bekannt sind, so könnten für die verschiednen Werthe von x die zugehörigen von V^2 gefunden werden, besser ist es jedoch, nach dem Vorschlage von Eustach Manfredi[2], durch Messung der Geschwindigkeit einer gleichförmigen Bewegung der Kugel in ruhig stehendem Wasser einen bekannten Werth für x aufzufinden. Ist dieser = b für die Geschwindigkeit = V' gefunden, so hat man

$$\frac{b}{a} = \frac{K}{M} = \frac{m.P.F.V'^2}{M.4g}, \text{ also } \frac{V'^2}{4g} = \frac{b}{a} \cdot \frac{M}{m.P.F}$$

und durch Division beider Gleichungen

$$\frac{V'^2}{V^2} = \frac{x}{b} \text{ oder } V' : V = \sqrt{x} : \sqrt{b},$$

wonach die Geschwindigkeitsscale aufgetragen werden kann. Soll dieses Instrument für gröfsere Tiefen gebraucht werden so ist noch erforderlich, den Einfluſs des Wasserstofses gegen den Faden auszumitteln. Da dieses für die verschiednen und mitunter beträchtlichen Tiefen zu etwas weitläuftigen Bestimmungen führt, so dürfte es am leichtesten seyn, eine grofse Kugel, der Dauerhaftigkeit wegen von Metall, und einen dünnen Metalldraht zu wählen, um den Einfluſs desselben auf ein Minimum herabzubringen, zugleich aber beim Normalversuche die Kugel etwa zwei bis drei Fuſs tief einsinken zu lassen, um den Einfluſs des Fadens mit in die ursprüngliche Bestimmung aufzunehmen. Uebrigens darf die Kugel nicht auf dem Wasser schwimmen, der Werth von x oder von b wird aber um so gröfser, je leichter sie bei gleichem Durchmesser ist[3].

---

1 Handbuch der Mechanik fester Körper und der Hydraulik. 2te Aufl. S. 244.

2 Nuova Raccolta. T. II. p. 373.

3 Ausführlich hat hierüber gehandelt Fr. Jos. v. Gerstner in Abhandl. d. k. Böhm. Ges. d. Wiss. 1819.

Digitized by Google

Der Einfluſs des Fadens wird vermieden beim *Wasserhebel* Lorgna's. An einem Pfahle ist eine blecherne Röhre RD mit einer Rolle am untern Ende befestigt. Ein Faden, an dessen Ende die Kugel F gebunden ist, geht über die Rolle, dann durch die Röhre und ist am andern Ende am Hebelarme E befestigt, welcher durch seine gröſsere Dicke dem andern längern und dünnen Hebelarme das Gleichgewicht hält. Die Geschwindigkeit, womit das flieſsende Wasser die Kugel, deren spec. Gewicht nur unmerklich gröſser als das des Wassers seyn muſs, forttreibt, wird auf gleiche Weise, als so eben gezeigt worden ist, gefunden; denn mit Beibehaltung der in der Formel enthaltenen Bezeichnungen und das Gewicht des Laufgewichts, welches den Waagebalken in horizontaler Richtung erhält, P' genannt ist Fig. 401.

$$P.m.F\,\frac{V^2}{4g}.AE = P'.QA.$$

Auch hierbei wird die Geschwindigkeit für eine gewisse Länge des Hebelarms = OA gefunden und es ist dann

$$V = V'\sqrt{\frac{AQ}{AO}}.$$

Hiermit kann das Wasser in jeder Tiefe gemessen werden. Raucourt[1] bediente sich bei seinen Messungen der Newa eines Apparats, *Hydrotachometer* genannt. Dieser bestand aus einer Art *Log*, einem Schwimmer, welcher bis zu der erforderlichen Tiefe hinabgelassen, durch das Wasser fortgestoſsen wurde und wobei sich die Geschwindigkeit aus der Länge einer von einem in gleicher Tiefe befindlichen Kegel abgewickelten Schnur ergab.

Mehrere Strommesser sind auf das Princip des Wasserstoſses gegen eine Fläche von gegebenem Inhalte gegründet. Dahin gehört die *hydraulische Schnellwaage* des Michelotti. Diese besteht aus einer Tafel B, die an einer dünnen und vorn kantigen Stange so in das Wasser herabgesenkt wird, daſs dieses lothrecht dagegen stöſst. Die Stange kann durch das Hebelstück A geschoben werden, um die Tafel tiefer herabzulassen, sie selbst aber bewegt den doppelten Hebelarm, an dessen einem Arme das Regulirungsgewicht N angebracht ist, um den horizontalen Stand des Waagebalkens hervorzu- Fig. 402.

1 Ann. Chim. et Phys. T. XLVI. p. 19.

Digitized by Google

bringen, während das Laufgewicht P′ den Druck des Wassers abwägt. Ist dann die Fläche der Tafel = F, das Gewicht des Laufgewichts = P′, die übrigen Bezeichnungen wie vorhin beibehalten, so erhält man[1]

$$m.P.F\,\frac{V^2}{4g}.BA = P'.AM.$$

Ist ferner für eine gewisse Geschwindigkeit = V′ die Länge des Hebelarms = AO gefunden, so erhält man auf gleiche Weise

$$\frac{V^2}{V'^2} = \frac{AM}{AO},$$

wonach die Geschwindigkeitsscale aufgetragen werden kann. Für gröfsere Tiefen wird jedoch eine etwas starke und daher auch breite Stange erfordert, deren Widerstand gegen das Wasser nicht vernachlässigt werden kann, sondern mit in die Formel aufgenommen werden mufs, indem man sich denselben als in ihrem Schwerpuncte vereint vorstellt. Geminiano Poletti's[2] *rheometrisches Winkelmafs*, wobei ein blofser verticaler Stab durch den Stofs des Wassers getroffen und durch ein Gewicht an einem oben befindlichen horizontalen Arme desselben in seiner verticalen Richtung erhalten wird, ist schon deswegen verwerflich, weil ungleich schnell fliefsendes Wasser gegen ihn in seiner ganzen Länge stöfst.

Fig. 403. Die *Wasserfahne* des Ximenes besteht aus einer Tafel, welche an einer Stange befestigt ist, deren Zapfen sich in zwei an einem Pfahle befestigten Charnieren drehen. Am obern Ende der Stange ist die Rolle A befestigt, um welche eine Schnur geschlungen, dann über die Rolle B gezogen und am andern Ende mit dem Gewichte P beschwert ist. So wie das Wasser die Scheibe durch seinen Stofs zurücktreibt, zieht das Gewicht P′ sie wieder dem Strome entgegen, wie der Zeiger auf dem eingetheilten Halbkreise angiebt, bis zur Herstellung des Gleichgewichts zwischen beiden entgegenstreben-

---

1 Der Coefficient m ist oben für eine Kugel = 0,7886 angegeben, für eine Scheibe ist er gröfser als 1 wegen des Widerstands, welchen das Wasser von den Seiten erleidet. Dubuat findet aus seinen Versuchen m = 1,438, v. Langsdorf aus Woltmann's Versuchen $m = 1 + \frac{3,8}{(V-1)^2+5}$. S. a. a. O. Bd. I. S. 256.

2 Atti della Soc. Ital. delle Scienze. T. XIX. Ebend. 55. 2.

den Kräften. Heifst dann die halbe Breite der Scheibe b, der Halbmesser der Rolle r, das Gewicht an der Schnur P′, so ist, die übrigen Bezeichnungen beibehalten,

$$m.F.b.P.\frac{V^2}{4g} = rP',$$

woraus nach Auffindung eines gewissen Werths von P″ für einen bekannten von V′ das Verhältnifs von V zu P′ gefunden werden kann. V. Gerstner bemerkt hiergegen, dafs es schwer hält, die Scheibe in die erforderliche Richtung zu bringen, und dafs die nicht leicht bestimmbare, nach Umständen veränderliche Reibung der Zapfen an der Stange und an der Rolle die bequeme Anwendung des Apparats erschwert.

Das *Tachometer* von Brünning gehört unter die vorzüglichsten Instrumente dieser Art und daher sind auch die durch diesen Hydrotekten angestellten Messungen ausnehmend zuverlässig[1]. Dieses Werkzeug besteht aus einer Scheibe an einer auf die Mitte ihrer Rückseite lothrecht befestigten Stange, welche bei X durch ein Loch in oder neben dem zu ihrem Halten bestimmten Pfahle gesteckt ist. Um bei grofsen Flüssen in verschiednen Tiefen zu messen, befindet sich dieses Loch in einem eignen Schieber, welcher den Pfahl umschliefsend vermittelst einer gezahnten Stange und eines Getriebes auf die erforderliche Tiefe herabgebracht wird, während man den unten zugespitzten und mit Eisen beschlagnen Pfahl an oben und unten befestigten Stricken festhält. Am andern Ende der Stange befindet sich ein gekrümmter Haken, an dessen Ende ein Strick gebunden ist, welcher über die Rolle R geführt und am kürzern Hebelarme AC befestigt wird. Der Wasserstofs gegen die Scheibe drückt diese zurück und die Stange zieht an der Schnur den Hebelarm herab, bis das Laufgewicht P′ am längern Hebelarme das Gleichgewicht wieder herstellt. Bedient man sich eines gleicharmigen Waagebalkens, so fällt die Berücksichtigung der ungleichen Längen der Hebelarme weg, es genügt, nur das Gewicht P′ veränder-

Fig. 404.

1 Man findet diese und prüfende Beschreibungen der verschiednen Strommesser in Brünning's Abhandlung über die Geschwindigkeit des fliefsenden Wassers und von den Mitteln, dieselbe auf allen Tiefen zu bestimmen. A. d. Holl. von Knönckx. Frankf. 1798.

lich zu machen, und man erhält dann, mit Beibehaltung der oben angenommenen Bezeichnungen,

$$m.F.P.\frac{V^2}{4g} = P',$$

wobei es immerhin am rathsamsten ist, das Verhältnifs zweier Bestimmungen von V′ und P″ empirisch aufzusuchen, obgleich bei diesem Apparate die theoretische Bestimmung mit der Erfahrung am genauesten übereinstimmen würde. Es steht hierbei blofs die Reibung der Stange in ihrem Loche entgegen, obgleich auch diese durch die Richtung der Schnur sehr vermindert wird, welche die Stange mindestens in ihrer geraden Richtung erhält; der Einfluſs der Reibung der Zapfen an der Rolle kann jedoch nicht vermieden werden, wenn gleich die am Waagebalken stattfindende von gar keiner Bedeutung ist, auch liegt es in der Natur der Wasserbewegung, dafs der Waagebalken stets oscillirt und nur mit Mühe zum Gleichgewichte gebracht wird.

Soll die Geschwindigkeit des schnell flieſsenden Wassers an einer bestimmten Stelle und zugleich blofs an der Oberfläche aufgefunden werden, so kommen hierbei häufig Fälle vor, wo die bereits angegebenen Apparate nicht anwendbar sind. Man bedient sich dann blofs eines kleinen Rädchens mit Schaufeln, die durch das flieſsende Wasser fortgestofsen werden, und mifst die Geschwindigkeit aus der Zahl der Umdrehungen des Rädchens, die man durch einen um seine Welle sich aufwickelnden Faden oder durch eine Schraube ohne Ende erhält und wobei eine genaue Zeitbestimmung als zweites Element der Berechnung unentbehrlich ist. Die letztere Vorrichtung ist zwar zusammengesetzter, aber auch bei weitem die genaueste, in jedem Falle mufs das Rädchen leicht und die Reibung der Zapfen möglichst vermieden seyn. Die Zeichnung giebt eine deutliche Vorstellung, die Messung aber dient ganz einfach zur Auffindung der Geschwindigkeit, wenn man die Zeit eines Umlaufs mit der Peripherie des Rädchens multiplicirt. Machte z. B. das Rädchen in 2 Minuten 360 Umläufe und wäre sein Halbmesser 0,5 Fufs, so erhielte man die Geschwindigkeit $V = 0{,}5.\pi.2.\frac{360}{120} = 9{,}42$ Fufs in einer Secunde. Dem beschriebenen Apparate sehr ähnlich ist der von

Fig. 405.

Bourcart[1] zu dem nämlichen Zwecke vorgeschlagen, jedoch etwas mehr zusammengesetzt.

Bei weitem das vorzüglichste Instrument ist Woltmann's[2] *Strommesser* oder *hydrometrischer Flügel*, dessen Beschreibung nach einem im hiesigen Modell-Cabinette befindlichen Exemplare ausführlich mitgetheilt zu werden verdient. Derselbe besteht aus einer in der Mitte vierkantig durchbohrten Scheibe mit vier auf einander lothrechten Röhren, in welche die Stiele der vier Flügel A, B (welche beide allein sichtbar sind) gesteckt und nach gehöriger Richtung vermittelst der Schrauben δ, δ festgeschraubt werden. Die vierkantige Oeffnung wird auf das gleichfalls vierkantige Ende der Welle a b aufgesteckt und mit der Schraube c festgeschraubt. Die Welle a b ist bei a etwas konisch und wird durch die gleichfalls konische Oeffnung gesteckt, am andern Ende b aber durch die Spitze der Schraube r festgehalten. Sie hat in der Mitte eine Schraube ohne Ende d, deren Gewinde in die Zahne des Rads C eingreifen und letzteres herumdrehn. Das Rad ruht mit seiner Axe in den Oeffnungen des Rahmens e f, welcher in e drehbar, in f aber an eine Schnur gebunden ist, so dafs das Rad sich hebt und in die Schraube eingreift, wenn man diese Schnur in die Höhe zieht, aber wieder still steht, wenn man die Schnur nachläfst, die Feder i den Rahmen niederdrückt und das Stiftchen k in die Zähne eingreift. Der Rahmen, welcher den ganzen Apparat hält, hat zwei Hülsen l, l, die sich um die Stange m n drehn. Die Enden dieser Stange drehn sich wieder in Hülsen mit verlängerten gekrümmten Lappen o, o, durch welche die den Apparat haltende Stange oder ein Pfahl gesteckt und zwischen den Lappen durch die Klemmschrauben p, p festgeklemmt wird, um ihn in den Strom bis zu der erforderlichen Tiefe hinabzulassen. Der Rahmen hat zwei geschlitzte Lappen, zwischen welche die breite und lange Fahne D gesteckt und vermittelst der Schrauben g, g festgeklemmt wird, um den Flügeln stets die lothrechte Richtung gegen den Strom zu geben. Damit endlich die Flügel den gehörigen Abstand vom Centrum und die

Fig 406.

1 Dingler polyt. Journ. Th. XXXV. mit Zeichnung auf Taf. III.

2 Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flügels. Hamb. 1790. Vergl. v. Langsdorf System d. Maschinenkunde. Bd. I. S. 198. Berliner Denkschriften 1816. S. 23.

Digitized by Google

erforderliche Richtung erhalten, bedient man sich einer Scheibe v w, die am Arme x befestigt ist, dessen Halter am Arme st mit zwei Stiften in zwei Löcher bei u festgesteckt wird. Vermittelst dieser Scheibe, die durch eine besondere Zeichnung versinnlicht ist, werden alle vier Flügel gerichtet und dann wird die Scheibe mit ihrem Halter weggenommen. Die Beobachtung geschieht so, dafs man den Strommesser an seiner Stange mit schlaffer Schnur, und nachdem zuvor die Scheibe C vermittelst des Stifts k auf 0° der Theilung eingestellt worden ist, bis zur erforderlichen Tiefe in das Wasser einsenkt, wobei die Flügel die der Stromgeschwindigkeit zugehörige Schnelligkeit der Umdrehung annehmen. Man zieht dann die Schnur schnell an, hält sie während einer vermittelst einer Secundenuhr genau gemessenen Zeit von 0,5 oder 1 Minute oder darüber fest und läfst sie dann ebenso schnell los, so dafs der Stift k das Rad wieder feststellt und die Zahl der Zähne die Menge der Umdrehungen der Flügel angiebt. Sind die Flügel in einen Winkel von 45° gegen die Strömung des Flusses gerichtet, so erfolgt der Theorie nach die Umdrehung mit gleicher Geschwindigkeit, als die des fliefsenden Wassers. Ist also der Halbmesser der Flügel vom Centrum der Axe a b an gerechnet = r, die Zahl der Umdrehungen oder der während t Secunden durch den Stift k gemessenen Zähne = n, der beständige Coefficient = m, so ist die Geschwindigkeit

Fig. 407.

$$V = m \cdot 2r \cdot \pi \cdot \frac{n}{t}.$$

Man thut indefs wohl, die Flügel in einen Winkel von etwa 43° zu richten und den beständigen Coefficienten m durch Versuche auszumitteln.

Die hier mitgetheilte Beschreibung der vorzüglichsten Geschwindigkeitsmesser wird für unsern Zweck genügen. Man hat sich auch bemüht, einen allgemeinen Ausdruck für die mit der Tiefe abnehmende Geschwindigkeit zu finden[1], und es geht allerdings aus den Versuchen hervor, dafs die zugehörige Curve eine Ellipse sey, allein die Constanten fallen für die einzelnen Messungen zu verschieden aus, als dafs eine allgemeine Bestimmung derselben möglich wäre. Der wirklichen Messungen sind zwar viele vorhanden, hauptsächlich von

1 Vergl. Eytelwein in v. Crelle's Zeitschrift. Bd. I. S. 1.

Digitized by Go

Brünning am Rhein und an der Waal, von Ximenes[1] am Arno, insbesondere von Raucourt an der Newa[2] und andere, allein im Verhältnifs zur Menge der vorhandnen Flüsse ist deren Zahl sehr gering und daher läfst sich die Quantität der in jedem einzelnen und in allen Flüssen zusammen genommen abfliefsenden Wassermenge nur nach ungefährer Schätzung bestimmen. Bei denjenigen Flüssen, deren Geschwindigkeit in den verschiednen Theilen ihres Querschnitts bekannt ist, kann die abfliefsende Wassermenge leicht gefunden werden, wenn man das Querprofil in mehrere Abtheilungen zerlegt und die Mengen aller summirt.

Bei der Beantwortung der in der Physik der Erde häufig aufgeworfnen Frage über die Menge des Wassers, welches einzelne Flüsse jährlich liefern, hat man zugleich auf die Anschwellungen Rücksicht genommen, die darüber vorhandnen Bestimmungen sind aber insgesammt sehr unzuverlässig. Die Wolga soll in einer Stunde über 1000, der Jordan fast 9, der Po 421, die Seine 16, die Themse 30,5 Millionen Kubikfufs Wasser geben, und Büffon[3] findet als Resultat der von Keil[4] entnommenen Angaben, dafs alle Flüsse der Erde in 812 Jahren das Meer ausfüllen würden. Riccioli[5] nimmt an, dafs der Po jede Stunde 401 Millionen Kubikfufs Wasser ins Meer ergiefst. Er rechnet dann alle Flüsse Italiens zu 8 Po-Strömen, Spaniens zu 6, Frankreichs und Hollands zu 28,5, Englands zu 6, Deutschlands mit Einschlufs des Obi zu 88,5, Asiens zu 405, Illyriens, Dalmatiens und Griechenlands zu 2, Africa's zu 190, Nordamerica's zu 619, Südamerica's zu 2240, also zusammen 3653 Po-Ströme und mit Zusatz der etwa vergessenen oder um eine runde Summe zu erhalten im Ganzen 4000 Po-Ströme über die ganze Erde, deren Wassermenge, nach der als Norm angenommenen, jährlich 455,5

---

1 Nuove Sperienze idrauliche, fatte ne' Canali e ne' Fiumi per verificare le principali leggi e fenomeni delle acque correnti. Siena 1780. Viele Angaben findet man in v. Wiebeking's theoretisch-praktischer Wasserbaukunde. N. Aufl. Munchen 1810—1815. IV Th. 4. mit 153 Kpfrtaf.

2 Ann. Chim. Phys. T. XLVI. p. 87.

3 Hist. nat. générale et part. T. I. p. 356.

4 Examination of Burnet's Theory. Lond. 1734. p. 126.

5 Geographia reform. Cap. X. §. 7.

Kubikmeilen ausmachen würde. Nach DE LA METHERIE[1] beträgt die gesammte Menge des durch die Flüsse dem Meere jährlich zuströmenden Wassers nur 341 Kubikmeilen; allein alle diese Angaben beruhn blofs auf so schwankenden Schäzzungen, dafs sich über ihren Werth gar nicht einmal urtheilen läfst. Die Wassermenge aller Flüsse Frankreichs wird zu 9000 Millionen Kubiktoisen angenommen und die Oberfläche Frankreichs soll sich zu der des gesammten Festlandes wie 1 zu 444 verhalten. Nimmt man also den Ertrag aller Flüsse als einander gleich an, so betrüge derselbe 444 × 9000 Millionen Kubiktoisen und die französische Meile zu 2283 Toisen angenommen würde man jene Gröfse erhalten. Nach einer gleichfalls nur sehr hypothetischen Annahme beträgt der Inhalt des Meeres etwas über anderthalb Millionen Kubikmeilen und diesemnach würden alle Flüsse der Erde dasselbe erst in 4488 Jahren ausfüllen. Ungleich besser begründet, wenn gleich nur auf Näherungen beruhend, ist eine Bestimmung von G. G. SCHMIDT[2]. Es wird dabei vorausgesetzt, dafs der Reichthum der Flüsse der Gröfse der Stromgebiete proportional sey, was zwar nicht genau seyn kann, weil die Regenmengen verschieden und namentlich unter niedern Breiten gröfser sind, als unter höhern, was jedoch dadurch ausgeglichen wird, dafs man zur Norm einen geeigneten Strom unter einer mittlern Breite wählt. Der Ingenieur-Major MÜLLER hat nach guten Landcharten folgende Flufsgebiete in geographischen Quadratmeilen bestimmt:

Amazonenfluſs	88,305	Don	6,088
Platastrom . .	71,665	Weichsel . .	3,578
Lorenzstrom .	62,330	Duero . . .	1,638
Mississippi .	53,636	Tago	1,357
Obi	63,776	Seine	1,236
Jenisei . . .	47,001	Loire	2,378
Lena . . .	36,483	Garonne . . .	1,443
Amur . . .	53,559	Po	1,410
Hoangho . .	33,686	Trent . . .	0,439
Ganges . . .	20,224	Donau . . .	4,432
Wolga . . .	30,154	Rhein . . .	3,598
Nil	32,620	Weser . . .	0,874
Senegal . . .	25,614	Elbe	2,800
Dwina . . .	5,890	Oder	2,072

1 Theorie d. Erde. Bd. II. S. 282.

2 Handbuch d. Naturlehre. Gieſsen 1818. S. 711.

Zur Normalbestimmung der Wassermenge dient der Rhein. Brünning[1] fand im Jahre 1790, dafs durch das Querprofil dieses Stroms, bei einer mittlern Tiefe von 9 Fufs 5,5 Zoll, in jeder Secunde 54431 rheinl. Kubikfufs und 1792, bei einer mittlern Tiefe von 15 Fufs 8 Zoll, 109787 rheinl. Kubikfufs abflossen; das Mittel giebt 82109 Kubikfufs in einer Secunde und die Meile zu 23642 Fufs gerechnet jährlich 0,1959 Kubikmeilen. Wird die für den Rhein gefundene Menge als Einheit angenommen, so giebt die Summe der genannten Flufsgebiete 186 und wenn man für die nicht genannten noch ein Drittel mehr annimmt, 250, wonach alle Ströme der Erde dem Meere jährlich ungefähr 50 Kubikmeilen Wasser zuführen. Wenn man aber die überwiegend grofse Regenmenge mancher äquatorischer Gegenden, namentlich America's, und den hieraus entstehenden gröfsern Reichthum der Flüsse berücksichtigt, den man hauptsächlich bei den unglaublich grofsen Ueberschwemmungen wahrnimmt, indem nach Azara[2] der einzige Platastrom mehr Wasser enthält, als alle europäische Ströme zusammengenommen[3], so könnte man die jährliche Wassermenge höchstens zu 75 Kubikmeilen annehmen. Dennoch aber würden nach der ersten Annahme 30000, nach der letztern 20000 Jahre erforderlich werden, bis alle Flüsse die Meere wieder zu erfüllen vermöchten.

Nur von wenigen Flüssen sind die Wassermengen, die sie liefern, auf gleiche Weise bekannt, als nach der mitgetheilten Angabe vom Rhein. Die Weser hat zwischen Vlotho und Schlüsselburg auf 1200 rheinl. Fufs Länge 4 Zoll $8\frac{1}{5}$ Lin. mittleres Gefälle, die Geschwindigkeit beträgt bei niedrigem Wasserstande und 3 bis 4 Fufs Tiefe $1\frac{3}{4}$ Fufs und die Wassermenge 1767 Kubikfufs in einer Secunde, bei 11 bis 12 Fufs Tiefe aber, wenn das Wasser den Ufern gleich steht, 6,75 Fufs Geschwindigkeit und 42260 Kubikfufs Wasser[4].

---

1 Brünning a. a. O. V. Wiebeking theoretisch-praktische Wasserbaukunde. Bd. I. S. 356.

2 Reise durch Südamerica. S. 26.

3 Dieses folgt übrigens auch aus der angegebenen Gröfse der Stromgebiete, indem die Summe aller europäischen nur 69,39 beträgt.

4 Beiträge zur allgemeinen Wasserbaukunst u. s. w. von F. E. Th. Funk. Lemgo 1808.

Nach Girard[1] liefert die Rhone dem Meere im Mittel jede Secunde 2000 Kubikmeter[2].

Die Länge des Laufes der Flüsse giebt kein genaues, aber doch ein ungefähres Mafs ihrer Gröfse, denn nach Banks[3] ist der Ganges nicht der längste, aber der wasserreichste unter den asiatischen Strömen, weil er periodischen Regen ausgesetzt ist, mehr aber wohl, weil er sein Wasser hauptsächlich aus einem Hochgebirge erhält, wo die Hydrometeore am ergiebigsten sind, eben wie auch die Donau ihren Reichthum an Wasser den aus den Alpen herabkommenden Flüssen verdankt. Setzt man die Länge der Themse = 1, so ist die des Rheins = 5,25; der Donau = 7; der Wolga = 9,5; des Indus = 5,5; des Euphrat = 8,5; des Ganges = 9,5; des Burrampooter = 9,5; das Nou-Kian oder Ava = 9,5; des Jenisei = 10; des Obi = 10,5; des Amur = 11; der Lena = 11,5; des Hoang-Ho = 13,5; des Kian-Keu = 15,5; des Nil = 12,5; des Missisippi = 8; des Amazonenflusses = 15,75. Auch v. Humboldt[4] hat die Längen einiger der Hauptströme der Erde angegeben. Nach ihm durchfliefst der Amazonenstrom 980 Meilen (zu 20 auf einen Grad gerechnet), der Missisippi 56 im Hauptstrome und 815 bis zu den Quellen des Missuri, der La Plata 530, der Orinoco mit seinem bekannten Theile 420, der Indus 510 und der Ganges 426.

Dafs ein gewisses Verhältnifs zwischen der Gröfse des Flufsgebietes, der Länge des Laufes, der Breite und der Wassermenge der Flüsse statt finden müsse, folgt aus der Natur der Sache von selbst, inzwischen ist noch kein allgemeines Gesetz hierüber aufgefunden, weil es namentlich einen grofsen Unterschied macht, ob ein Flufs den bedeutendsten Theil seiner Wassermasse aus Schneegebirgen oder aus der Vereinigung

---

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XXVI. p. 220.

2 Noch mehr ähnliche Bestimmungen, die in hydrotechnischen Werken zerstreut vorkommen, aufzusuchen und hier mitzutheilen scheint mir unnöthig. Bei der jetzigen gröfsern Genauigkeit der Landcharten und der bessern Länderkenntnifs durch die zahlreichen neuern Reisebeschreibungen liefse sich eine richtigere Uebersicht, als die in der Tabelle mitgetheilte, auffinden, wenn jemand die gesuchte Bestimmung dieses Aufwandes von Zeit und Mühe werth hielte.

3 Phil. Trans. LXXI. p. 90.

4 Reisen. Deutsche Ueb. Th. III. S. 688.

dessen erhält, was sich über flacheren Districten aus den Hydrometeoren ansammelt. Die allgemeine Bestimmung der Strombreiten interessirt nicht sowohl die Ingenieurs, die sich mit dem Brückenbaue beschäftigen, weil für diesen Zweck an jeder einzelnen Stelle genaue Messungen erfordert werden, als vielmehr insbesondere die militärischen Schriftsteller bei der Terrainlehre, bei denen man daher die meisten hierher gehörigen Untersuchungen findet. Hieraus ergiebt sich, dafs die Breite des Flüsse mit der Gröfse ihrer Gebiete wächst, aber nicht im gleichen Verhältnisse, weil auch die Tiefe derselben gleichzeitig zunimmt. So ist unter andern die Breite der Rhone = 130 Schritte bei 758 Quadratmeilen Stromgebiet, der Seine = 170 Schritte bei 1236 Quadratmeilen, des Rheins = 500 bei 3598, der Donau = 1000 bei 14423 und der Wolga = 1200 bei 30488. Etwas entfernt Aehnliches findet in Beziehung auf das Verhältnifs der Flufslängen zur Gröfse ihres Gebietes statt. So ist bei der Rhone die Länge = 110 Meilen, bei der Seine = 91, beim Rhein = 175, bei der Donau = 381, bei der Wolga = 460; der Nil hat eine Länge von 535 Meilen und 32620 Quadratmeilen Stromgebiet, der Ganges 336 und 20434, die Lena 440 und 36620, der Jenisei 414 und 47000, der Obi 572 und 63776, der Mississippi 730 und 67730, der Plata 461 und 61655, der Amazonenstrom 784 und 88405. Solche Bestimmungen bleiben aber allezeit schwankend, weil man die absolute Genauigkeit der Charten unmöglich verbürgen kann[1].

Es ist bereits oben angegeben, was man unter Gefälle eines Flusses versteht und dafs die Geschwindigkeit des Fliefsens keineswegs der Gröfse dieses Gefälles im Ganzen proportional ist. Inzwischen ist bei den meisten, namentlich den grofsen Strömen, in der Regel das Gefälle nur anfangs bedeutend, wenn sie in der Nähe ihrer Quellen in gebirgigen Gegenden fliefsen, später in den Ebenen und namentlich beim Durchströmen eines ausgedehnten Flachlandes ist ihr Gefälle meistens sehr gering. Allgemeine Angaben hierüber, wie von Vitruv, Scamozzi, Barratteri, Kühn und andern[2],

---

1 Diese und mehrere ähnliche Angaben von F. v. Strantz finden sich in Hertha Th. XI. S. 253.

2 Vergl. Otto Hydrographie. S. 155.

sind ohne allen Werth und nur die wenigen verdienen Beachtung, die sich auf wirkliche Messungen gründen, und diese zeigen sich in einem sehr hohen Grade verschieden, bald grofs, bald unglaublich klein. Unter andern hat nach Anderson[1] der Senegal von Podor bis ans Meer auf eine Strecke von 60 franz. Meilen nicht viel über 2,5 Fufs Fall; nach de la Condamine hat der Amazonenflufs von seiner Mündung bis 200 Seemeilen aufwärts nur 10,5 par. Fufs Fall, was auf 1000 F. $\frac{1}{77}$ Zoll beträgt; die italienischen Flüsse haben fast alle anfangs ein starkes, nachher ein sehr geringes Gefälle, und nach Lulofs hat der Flufs Marwede oberhalb Dordrecht auf 1000 Fufs $\frac{8}{9}$ Zoll, unterhalb bis zum Meere aber nur $\frac{3}{11}$ Zoll Gefälle. Die Rhone ist beim Genfersee 1128 Fufs über dem Meeresspiegel hoch und müfste daher eine Fallgeschwindigkeit von 260 Fufs in einer Secunde erhalten, allein ihre wirkliche Geschwindigkeit beträgt nur 5 Fufs. Der Amazonenflufs ist einer der schnellsten und hat an seinen obern Theilen eine Geschwindigkeit von 7,5 Fufs in einer Secunde, von Fort Paxis an beträgt sein Gefälle aber nur 10,5 Fufs auf 120 Seemeilen. Der starke Fall des Neckars beträgt im Ganzen nur 32,7 Fufs auf die altwürtembergische Meile und dennoch hat er von seiner Quelle bis Heilbronn 1634 F. Fall. Der Rhein hat zwischen Strafsburg und Dordrecht auf 1000 Fufs nur 0,2 Fufs Gefälle, ungeachtet sein gesammter Fall von Schaffhausen bis ins Meer 1013 Fufs beträgt[2]. Das Gefälle der Donau zwischen Ulm und Donauwerth beträgt auf 1000 Fufs nur $\frac{1}{7}$ Fufs; der Seine zwischen Valvint und Sève nur $\frac{1}{8}$; der Loire hinter Pouilli $\frac{4}{7}$ Fufs auf gleiche Weite. Nach den Messungen von Escher[3] hat der Rhein bei der Brücke zu Basel beim niedrigsten Stande 3,5, beim mittlern 5,5 und beim höchsten Stande 7,7 Fufs Geschwindigkeit und die Menge des fliefsenden Wassers beträgt beim mittlern Stande 6494638 Kubikruthen, jede zu 1000 Kubikfufs. Nach genauen Messungen ist die Breite des Clydeflusses bei Glasgow = 410 Fufs, seine mittlere Tiefe = 3,5 Fufs, die Geschwindigkeit an der Oberfläche 1,23 Zoll in einer Secunde, wonach die mittlere

---

1 Reise nach Senegal. S. 67.
2 Von Bohnenberger in: Tübinger Blätter. Th. I. Hft. 3.
3 G. LXX. 202.

Digitized by Google

Geschwindigkeit des ganzen Flusses nicht höher als nahe 0,6 Zoll gerechnet wird. Er führt demnach dem Meere nicht mehr als 1877053 Tonnen zu, und nach der Gröfse der Flufsgebiete liefern daher alle Flüsse Grofsbritanniens nur 155795399 Tonnen, welches kaum $\frac{1}{100}$ des Unterschieds zwischen dem Ertrage der Hydrometeore und der Verdunstung beträgt[1].

Die Geschwindigkeit des Fliefsens wird bei den Flüssen gröfser, wenn ihre Ufer einander näher sind, theils weil sich dann die vorhandene Wassermasse in einem engern Raume bewegen mufs, theils weil solche Verengerungen des Flufsbettes meistens nur in gebirgigen Gegenden vorkommen, wo der felsige Boden eine weitere Ausbreitung hindert, zugleich aber auch abschüssiger ist und daher gröfsern Fall erzeugt. Vereinigen sich diese beiden Bedingungen und werden dadurch die Flufsbetten stark verengt, so entstehn die sogenannten *Stromschnellen*, in denen das Wasser sich mit unglaublicher Geschwindigkeit bewegt. Die auffallendsten Beispiele dieser Art geben nach heftigen Regengüssen die Waldströme und die stärkste hierbei gemessene Geschwindigkeit, vielleicht auch die absolut schnellste, war die des im Bagnithale aufgestaueten und plötzlich durch den Schneedamm brechenden Wassers von 32 par. Fufs in einer Secunde[2]. Die bekanntesten Stromschnellen sind die des Connecticut, wo das zwischen Felsen zusammengedrängte Wasser so schnell fliefsen soll, dafs Blei auf demselben schwimmt und kein Brecheisen beim Stofse in dasselbe eindringt[3]. Dort beträgt seine Breite auf eine Strecke von 400 Ellen nicht ganz 15 Fufs. Unrichtig ist übrigens der Ausdruck, dessen man sich zuweilen bedient, dafs das Wasser dort durch die Geschwindigkeit seines Fliefsens eine gröfsere Härte bekomme. Dieses ist durch spätere Beobachter mit Recht bestritten worden und überhaupt ist die Thatsache dem Wesen nach keine andere, als dafs sowohl das Blei, als auch die Brechstange durch den Stofs des schnell fliefsenden Wassers fortgerissen wird. Der Amazonenflufs hat 4 grofse Stromschnellen, unter denen der Punto zwischen St.

---

1 Edinb. New Phil. Journ. N. XVII. p. 184. Aus Thomson on heat and electricity. p. 268.

2 G. LX. 331. LXII. 108.

3 Beiträge zur Länder- und Völkerkunde Th. II. S. 149.

Digitized by Google

Jago und Borja die stärkste ist. Der Strom hat oberhalb des Passes 250 Faden Breite und wird bis zu 25 Fufs zusammengedrängt, so dafs das Wasser gleichsam hinabstürzt und Condamine's Fahrzeug mehrere Lachter in einer Secunde durchlief[1].

Die Stromschnellen gehn, wenn sie eine gewisse, nicht genau bestimmbare Geschwindigkeit überschreiten, in die *Wasserfälle* über, deren es in allen Gegenden gröfsere und kleinere, mitunter von unglaublicher Höhe und Schönheit, giebt[2]. Unter die bekanntesten europäischen gehört der *Staubbach* unweit Bern, dessen Höhe auf 1100 Fufs angegeben wird, aber nur 900 Fufs gemessen ist. Das von einer Felsenwand herabfallende Wasser zerstiebt fast gänzlich, wenn es auf die zunächst unter dem obern Falle befindliche schräge Felsenwand stürzt, in einen Staubregen und bildet im Sonnenschein einen schönen Regenbogen[3]. Minder hoch, aber wegen der gröfsern Wassermasse schöner, ist der Fall des *Reichenbachs*, dessen Höhe zu 200 Fufs angegeben wird. Die Wasserfalle des *Rheins* sind sehr berühmt; er hat deren zwei grofse und sieben kleinere. Unter den ersten ist der bedeutendste bei Schaffhausen, wo der höchst klare, schon beträchtlich grofse Flufs anfangs zwischen enge Ufer eingezwängt über grofse Felsblöcke rauschend hinfliefst, bis an den eigentlichen Fall, dessen Höhe ältere Reisende zu 100, ja sogar zu 150 Fufs angeben, dessen gemessene Höhe aber nur 30 Fufs beträgt, und auch diese scheint der Fall dem Ansehn nach nicht zu erreichen. Doch ist er ausnehmend schön, weil die schneeweifse Farbe des herabstürzenden und mächtig wieder emporgehobenen Wassers gegen die ebene Fläche unterhalb und die umgebenden grünenden Ufer wundersam absticht. Vermuthlich ist er früher höher gewesen, später aber durch die all-

---

1 Condamine's Reise. S. 220.

2 Eine vollständige Zusammenstellung aller Wasserfälle würde bei grofsem Zeitaufwande nicht einmal von bedeutendem Nutzen seyn und ich beschränke mich daher nur auf einige der merkwürdigsten. Dafs die Zahlenangaben, die man aus den Reisebeschreibungen entnehmen mufs, keine absolute Gewifsheit haben, versteht sich von selbst, namentlich macht es in Beziehung auf die Höhe einen grofsen Unterschied, von wo an dieselbe gemessen wird.

3 Gruner Eisgebirge d. Schweiz.

mälige Zerstörung der Felsen niedriger geworden[1]. Der zweite, nicht minder schöne Wasserfall ist beim Schlosse *Laufen*, wo der Flufs zwischen Felsenwänden und über Felsblöcke ungefähr gleich hoch herabstürzt und fast ganz in Staub verwandelt wird. Die kleinen Wasserfälle, worunter auch der bei Bingen gerechnet wird, verdienen den Namen eigentlich nicht.

Der Wasserfall des Velino bei Spoletta, *Caduta della Marmore* genannt, war schon den Alten bekannt[2], hat aber seine jetzige Schönheit erst durch Kunst erhalten, indem die Einwohner der Stadt Terni, welcher seine Ueberschwemmungen zuweilen gefährlich wurden, ihn ableiteten, wodurch sein jetziger höchster Fall von 200 Fufs erst entstand. Das schon vorher reifsend schnell herbeiströmende Wasser stürzt mit grofsem Getöse in einen Abgrund und wird hierbei fast ganz in Schaum und Staub verwandelt, welcher Farben spielt und die Umgebungen mit feinem Regen erfüllt[3]. Der Cetino (Silurus der Alten) in Dalmatien hat in einer romantischen Gegend unweit dem Bergschlosse Duara einen schönen Wasserfall, *Velica Gubariza* gennannt, von etwa 150 Fufs Höhe, und eine halbe Meile unterhalb noch einen kleinern, *Mala Gubariza*, von etwa 20 Fufs Höhe. Auch der Kerka oder Titius der Alten hat einige sehr romantische Wasserfälle[4]. Unter die höchsten Wasserfälle, mindestens in Europa, gehören die in den Pyrenäen, wo unter andern aus einem Amphitheater des Berges Marboré 10 bis 12 Giefsbäche von einer 1400 Fufs hohen Felsenwand herabstürzen, unter denen der höchste 1256 Fufs Höhe haben soll.

Ausnehmend schöne Wasserfälle findet man auf der skandinavischen Halbinsel wegen der Menge und Höhe der dortigen Gebirge. Dahin gehört der Katarakt des *Glomen* bei Sarp in Norwegen, wo der beträchtlich grofse Flufs sich 60 Fufs hoch in einem Absatze über einen Felsengrund herabstürzt, so dafs das Getöse auf 5 Meilen Entfernung gehört

---

1 V. Humboldt setzt bei den americanischen Wasserfällen die Ursache in eine Erhöhung des Flufsbettes. S. u.

2 Virgil. Aen. Lib. VII. v. 563.

3 Volkmann Nachrichten von Italien. Th. III. S. 370.

4 Forti's Reisen durch Dalmatien. Th. II. S. 114. 183. 187.

Digitized by Google

werden soll, sicher hört man ihn eine Meile weit[1]. Zwischen Bergen und Stavangre sind zwei Wasserfälle; einer von wenig Wasser, aber 1600 Fufs hoch, und demnach der höchste bekannte, der andere so viel Wasser haltend, als die Seine, und dennoch 945 Fufs hoch[2]. Sehr bekannt ist der Wasserfall *Trolhätta* (Zauberhöhle) der Götha-Elv bei Gothenburg, welcher zwar als der höchste unter mehrern kleinern Herabstürzungen des Wassers nur 6 Fufs Höhe hat, alle zusammen betragen jedoch wohl 128 Fufs. Der in einer anmuthigen Gegend liegende Wenersee hat nämlich keinen andern Abfluſs, als durch die Götha-Elv, die Erhebung über dem Meere beträgt 146 Fufs, und diese wird durch die verschiedenen Wasserfälle durchlaufen, wovon die ersten gegen 27, die zweiten 54, die dritten 20, die vierten 30 Fufs Höhe im Ganzen haben. Jedoch ist der See mit dem Meere durch einen Canal verbunden, welcher unter die schönsten und gröſsten gehört und mit dem von Languedoc vergleichbar ist. Die obere Schleuse bei Brinkebergs-Kulle hat 19 Fufs Tiefe, die acht Schleusen von Trolhättan begreifen 113 Fufs, eine bei Akerström 3,5 und die von Edet 10 Fufs; diese letztere ist schon 1664 erbauet[3]. Die Dahlelv hat bei *Elkaleby* einen Wasserfall, welcher dem des Rheins bei Schaffhausen nicht nachsteht; der Strom ist sehr breit, alle Absätze zusammen betragen 110 Fufs und der eine senkrechte zwischen 30 und 40 Fufs. Die Niedelv bei Drontheim bildet zwei Wasserfälle, den groſsen *Leerfos*, wo das Wasser 96 Fufs hoch und 400 Fufs breit ruhig auf einer wenig unterbrochenen Fläche herabfällt, und weiter unten den kleinen Leerfos, wo der Fluſs nur 180 Fufs breit 80 Fufs hoch über viele Unebenheiten herabstürzt[4]. Die Lundelv hat einen Wasserfall, welcher seiner geringen Höhe ungeachtet unter die schönsten in Norwegen gehört. Der Strom ist gegen 140 Fufs breit, stürzt in einem breiten Bogen 20 bis 24 Fufs herab, ein Arm desselben bricht sich an einem Felsen und steigt mit einem durchsichtigen Nebel umgeben in die Höhe, und dieses Phänomen

---

1 Allgem. geograph. Ephemeriden. 1798. Mai, mit Abbild.

2 Nouvelles Annales des Voyag. T. XVII. p. 148.

3 Hausmann Reise d. Skandinavien. Th. I. S. 220. Bredmar Reise. Th. I. S. 23.

4 Bredmar Reisen. Th. II. S. 21.

wiederholt sich 6- bis 7mal in geringen Höhen, bis sich das Ganze in ein weifses Gekräusel auflöst[1]. Der bekannte lappländische Flufs *Torneö* hat nicht weniger als acht Wasserfälle und selbst unter dem Polarkreise zu *Viigtil* sind zwei Wasserfälle, deren Höhe wohl 1000 Fufs beträgt und die daher schön sind, wenn gleich nur ein starker Bach das Wasser dazu liefert.

Ueberraschend schöne Wasserfälle durch den Contrast des weifsen Wasserschaumes mit der schwarzen Lava sind auf Island. Einer derselben ist an der Nordseite der Insel in der Nähe des Lissawatnsees nicht weit von Hals, wo das Wasser aus der Lava hervorbricht und über diese hinstürzt, ein anderer ist an der Ostküste bei Stafafel, welcher bei beträchtlicher Wassermenge eine senkrechte Höhe von 420 engl. Fufs hat, und ein dritter an der südlichen Küste bei Holt in den Eyafialla-Bergen, wo das Wasser 800 engl. Fufs herabstürzt. Hier findet sich die Eigenthümlichkeit, dafs zuweilen der starke Wind am Fufse des Berges die ganze Wassermasse zu einer Staubwolke umgewandelt in die Höhe hebt[2].

Unter den Strömen Asiens haben der Tigris und der Ganges viele schöne Wasserfälle[3]. In den Gauts-Gebirgen bei *Girsupah* sind viele, deren Wasser vereint den Flufs Sarawati bildet; sie sind sehr imposant und ihre Höhe hat der Beobachter nach der Fallzeit einer Kokusnufs von 8 Secunden zu 965 par. Fufs geschätzt[4]. Einige Beobachter[5], die sie genauer untersuchten, mafsen die Höhe des einen Falls vermittelst einer Schnur mit einem angebundenen Steine, erhielten bei wiederholten Messungen nur 14 F. Unterschied und ermittelten die gesuchte Höhe zu 892 engl. F. Sie stiegen herab und stellten sich so, dafs das Wasser über ihnen hinwegstürzte, was allerdings eine imposante Erscheinung darbot, wobei jedoch ihre Kleider gänzlich von dem aus der Tiefe aufsteigenden Wasserdampfe durchnäfst wurden. Christie[6] re-

---

1 Ebend. Th. I. S. 77.
2 Henderson Island Th. I. S. 177. 256. 356.
3 Beckmann Hist. Orb. terr. p. 90.
4 Froriep Notizen. Th. XXVI. S. 230.
5 Edinb. New Phil. Journ. N. XVIII. p. 385.
6 Edinb. New Phil. Journ. N. X. p. 294. Girsupah und Garispa,

det von ebendiesen oder von ähnlichen in jener Gegend, die der Fluſs Schervutti bildet und die von der benachbarten Stadt die Wasserfälle von *Garispa* genannt werden. Den höchsten maſs er mittelst einer Schnur und eines angebundenen Steines, welcher aber bei 500 Fuſs Tiefe vom fallenden Wasser ergriffen und fortgerissen wurde; doch schätzt er hiernach die lothrechte Höhe des Hauptfalles, den man nur von oben genau betrachten kann, auf mehr als 1000 engl. Fuſs. Ein sehr groſser Wasserfall, der von *Rewah* genannt, befindet sich in Ostindien, wird nebst zwei andern in der nämlichen Gegend durch den Fluſs Loonse gebildet und übertrifft nach der Beschreibung[1] an Gröſse und Pracht alle andern, selbst den des Niagara nicht ausgenommen. Man hört ihn auf mehrere engl. Meilen weit, aber sein Anblick ist noch imposanter, denn das Wasser fällt über einen vorstehenden Felsen 173 engl. Fuſs hoch in einem einzigen ungetheilten Strome, der aufsteigende Dampf bildet eine ungeheure weiſse Wolke, die den Zuschauer bis auf eine Entfernung von 500 Yards benetzt. Der zweite Fall ist nicht so hoch, aber dadurch ausgezeichnet, daſs das Wasser gegen einen hohen, lothrechten und säulenförmigen Felsen fällt, welcher das Ansehn hat, als müsse er jeden Augenblick fortgestoſsen werden. Oben auf diesem wohnt seit 30 Jahren ein alter Fakir, welcher als Heiliger verehrt wird.

Als einer der höchsten Wasserfälle wird derjenige angegeben, welcher sich in den Gebirgen Kinnieh-Balluh auf der Insel Borneo befindet. Er liegt an der westlichen Küste eine gute Strecke vom Ufer und wird von der Küste von Abai aus auf 3,75 geogr. Meilen weit gesehn[2]. Auch auf der Insel Quibo stürzt ein Bach klaren Wassers aus 450 Fuſs Höhe herab[3].

Die Flüsse Africa's sind noch am wenigsten bekannt, aber dennoch kennt man einige bedeutende Wasserfälle derselben.

Sarawati und Schervutti sind ohne Zweifel die nämlichen, bloſs durch die Aussprache verschiedenen Namen; indeſs ist es schwer, bei jenen minder bekannten Gegenden hierüber mit Gewiſsheit zu entscheiden.

1 Edinb. New Phil. Journ. N. VII. p. 182.

2 Beiträge zur Länder- und Völkerkunde. Th. IV. S. 248.

3 Anson's Reisen bei Otto Hydrog. S. 210.

Dahin gehören die des Senegal und des Zaire bei *Yellala*. Die Höhe des letztern wird zu 30 Faden, nach neuern Messungen aber nur zu 80 Fuſs angegeben, indeſs ist derselbe sehr imposant wegen der Mächtigkeit des Stroms und weil man unter dem Bogen des herabstürzenden Wassers hin gehn kann[1]. Am bekanntesten sind durch Bruce die Katarakten des *Nil* bei Alate und Syene. An der Bergterrasse von Fazuclo, am obern Nil, sind drei Wasserfälle, deren einer 280 Fuſs Höhe haben soll. Dort ist der Fluſs nicht breiter als die Tiber bei Rom, weswegen die räuberischen Gallas bei ihren Einfällen in Habesh leicht über ihn setzen können. Die berühmten, schon den Alten bekannten Katarakten bei *Syene* bilden eigentlich das Ende einer Reihe von Stromschnellen, welche die von Ibrim oder die der Kennous, eines armen Fischervölkchens, genannt werden und einen eigentlichen Wasserfall, mit Namen *Schellal*, in sich begreifen. Bei niedrigem Wasserstande fällt der Fluſs auf eine Länge von etwa 50 Fuſs ungefähr 70 bis 80 Fuſs herab, bei hohem wird alles zu einem reiſsenden, bis 3000 Fuſs breiten Strome, welchen die Nubischen Schiffer mit ihren Flöſsen nicht ohne Gefahr durchschiffen[2]. Manche ältere Beschreibungen dieser Katarakten sind sicher übertrieben und überhaupt sind die bei Syene nicht sowohl eigentliche Wasserfälle, als vielmehr Stromschnellen, wobei der Fluſs rauschend über Klippen stürzt. Nach der Angabe von Thom. Legh[3] ist dieser eigentliche Fall nur sehr unbedeutend, indem die Knaben der anwohnenden Fischer sich für eine Kleinigkeit hineinstürzen und unterhalb wieder emporkommen. Weit beträchtlicher dagegen ist ein höher hinauf liegender Fall bei *Genâdil*. Auch zu *Rodezand* sah Lichtenstein[4] einen Wasserfall von 30 bis 40 Fuſs Breite und 80 bis 90 Fuſs Höhe, obgleich der Fluſs damals klein war. Mehrere bedeutende Wasserfälle im innern gebirgigen Theile Africa's sind sicher noch unbekannt.

---

1 Otto Hydrographie. S. 210. Vergl. Ann. of Phil. XII. p. 155.

2 Recueil d'Observations et de Mém. sur l'Égypte ancienne et moderne cet. par Jomard. Par. 1822. T. I. chap. 1. Vergl. Ritter Erdkunde. Th. I. S. 259 u. 273. Thom. Young in Encyclop. Brit.

3 Reise durch Aegypten u. s. w. Weim. 1818, S. 58.

4 Reisen. Th. I. S. 233.

Das neue Continent, so reich an Naturmerkwürdigkeiten jeder Art, hat auch die meisten bekannten grofsen Wasserfälle. Von Humboldt[1] bemerkt, dafs die dortigen Flüsse überhaupt von vielen Felsenwänden durchschnitten sind, die lange, zusammenhängende Cascaden bilden, auch sind manche deswegen nicht schiffbar. Viele dieser Katarakten sollen früher höher gewesen seyn, als jetzt, was man meistens als eine Folge des Verwitterns der Felsen betrachtet, v. Humboldt findet aber die Ursache mehr in der Anhäufung des Sandes und Schlammes, welcher unterhalb das Flufsbette erhöht. Einige derselben sind so ausnehmend grofsartig, andere so malerisch schön, dafs sie eine etwas genauere Beschreibung verdienen.

In einer Höhe von 2650 Meter über der Meeresfläche ist eine nicht eben grofse, aber herrlich angebauete und von Indianern bewohnte Ebene (*Llano del Corazas*), die durch zwei Schluchten begrenzt ist, an deren einer das liebliche Dorf Puraze nicht weit vom Vulcane gleiches Namens liegt. Hier ist der reizende Wasserfall, durch den kleinen Flufs Rio de Vinagre gebildet, nicht sowohl durch die Menge des Wassers, als vielmehr durch die Höhe seines Sturzes und die schönen Umgebungen ausgezeichnet, denn es sind dort drei Cascaden, das Wasser stürzt 120 Meter hinab und zerstiebt unten im Schaum und Staub.

Eine höchst interessante, malerische Beschreibung hat v. Humboldt von dem Wasserfalle des *Rio de Bogota* bei *Tequendama* mitgetheilt. Dieser Flufs, auch *Funzha* genannt, vereinigt in sich alles Wasser des 2660 Meter hoch liegenden Thales von Bogota und verläfst dieses Thal bei der Meierei von Tequendama, indem er sich durch eine Oeffnung in eine Schlucht stürzt, die sich gegen das Bassin des Magdalenenflusses hinzieht. Der hierdurch entstehende Wasserfall, welcher alles vereinigt, was eine Gegend zauberisch schön machen kann, wird dort für den höchsten in der Welt gehalten, was nicht der Fall ist, indefs giebt es nach v. Humboldt keinen, welcher eine so beträchtliche Fallhöhe mit einer so grofsen Menge Wassers vereinigt. Nicht weit oberhalb des Falles hat der Flufs noch 41 Meter Breite, beim Anfange

1 Reisen. D. Ueb. Th. IV. S. 52 u. 60.

der anscheinend durch ein Erdbeben gebildeten Kluft verengen sich die Ufer bis zu 10, höchstens 12 Meter Abstand von einander und die gesammte Wassermasse stürzt in zwei Streifen in eine Tiefe von 175 Meter, wobei sie auch zur Zeit der gröfsten Dürre noch ein Profil von 90 Quadratmetern hat. Beim Sturme geht eine Menge Wassers durch Bildung eines dicken Dunstes verloren, aber dennoch ist der Strom unterhalb so reifsend, dafs man sich dem tiefen Bassin nicht weiter als bis auf 140 Meter nähern kann. Wegen des üppigen Baumwuchses wird diese Schlucht nur schwach vom Tageslichte erhellet, und die Einsamkeit des Orts, der Reichthum der Vegetation nebst dem schrecklichen Getöse des fallenden Wassers machen diese Cascade zu einer der wildesten Gegenden in den Cordilleren.

Der Wasserfall des *Niagara* galt bisher allgemein für den gröfsten in der Welt, für eins der merkwürdigsten Naturwunder, wovon alle Beobachter mit Erstaunen und Begeisterung reden, ja DE ROOS[1], welcher den Aetna, Vesuv und die Anden bereiset, auch das Cap-Horn umschifft hat, versichert, nirgends etwas gesehn zu haben, was an Gröfse des Eindrucks diesem Phänomene gleich komme. Bei diesem Wasserfalle kommt noch der seltene Umstand hinzu, dafs er sich in keiner bergigen Gegend befindet, wo man dergleichen Naturwunder erwartet, vielmehr wird er an derjenigen Stelle gebildet, wo der grofse Flufs aus der Ebene des Eriesees in die des Ontario herabstürzt[2]. Der Strom breitet sich etwa fünf engl. Meilen vor dem Sturze in einen See von einer halben engl. Meile aus, wird dann aber bald wieder schmäler und fliefst schneller, je näher er der 1400 F. langen Felseninsel (*Goats-Island*, Ziegeninsel) kommt, die ihn in zwei Theile spaltet, und veranlafst, dafs er in zwei Armen herabstürzt. Die ihn einschliefsenden Berge rücken allmälig näher, verengern sein Bette und verursachen, dafs er 2,5 engl. Meilen vor dem Falle

---

1 Personal Narrative of Travels in the United States cet. Lond. 1827. 8. Eine genaue Beschreibung findet man in JOHN MELISH Reisen durch die vereinten Staaten. Weimar 1819. S. 870. Das ganze Gefälle zwischen dem Erie- und Ontariosee beträgt 450 Fufs.

2 Hierüber und über die geologische Beschaffenheit der Gegend handelt ausführlich FARNOLMS in London and Edinburgh Phil. Mag. N. XXV. p. 11.

nicht mehr befahren werden kann. Die den Strom trennende Insel ist am Ende 120 Fufs breit, der eine Arm des Flusses, 1800 Fufs breit, ist vor dem Sturze viel reifsender, als der andere, weil er über Klippen hinfliefst, bis er 137 Fufs hoch herabstürzt; der andere Arm ist nur 1050 F. breit, fällt aber höher herab. Das erregte Getöse gleicht dem Donner, Dünste steigen unablässig empor, durchnässen alle diejenigen, die sich dem Falle nähern, und gleichen, aus der Ferne gesehn, einer dicken Rauchsäule von einem brennenden Walde. Die mit herabgedrückte Luft steigt aus der Tiefe mit vieler Gewalt wieder herauf und schleudert grofse Wassermassen zu beträchtlichen Höhen. Hinter dem herabfallenden Wasser ist eine Höhle, welche von Reisenden, jedoch nicht ohne Gefahr, besucht wird, weil es schwer ist, in dem dichten Dunste den Weg, welcher hineinführt, wahrzunehmen. Nach DE ROOS wird sie blofs durch das Licht erhellt, welches durch das fallende Wasser dringt, und es herrscht in ihr stets ein sturmähnlicher Zugwind. Sie ist ungefähr 120 Fufs hoch, 50 F. breit und 300 F. lang, ihr Eingang aber nicht sichtbar; in ihr giebt es eine Menge Aale und Wasserschlangen. Die Aushöhlung ist dadurch entstanden, dafs oben harter Kalkstein, darunter aber ein weicheres, der Verwitterung ausgesetztes Gestein liegt. Der Fall ist fast lothrecht, unten gleitet er an einem unterhalb der Höhle befindlichen, fast lothrechten Felsen hinab. Im Winter gefriert der Nebel an den Bäumen zu den herrlichsten Krystallen. In der grofsen Kluft unterhalb des Falles, anderthalb engl. Meilen tiefer, hat der Strom noch einen Fall von 65 F. Höhe und man glaubt, dafs beide früher zusammengehängt haben; die Europäer aber kannten ihn nie anders, als in seiner jetzigen Gestalt. DE ROOS berechnet, dafs der Strom, wenn man seine Geschwindigkeit zu 6 engl. Meilen in einer Stunde annimmt, was etwas über 8 par. Fufs in einer Secunde beträgt, dennoch täglich 2400 Millionen Tonnen Wasser liefert.

Sonstige Wasserfälle in America sind der des *Patowmak*, in den Allegheny-Bergen, von 72 F. Höhe und 800 F. Breite, des *Cohoz*, 30 F. hoch, des *Genessee* zwei, von 60 und 80 F. Höhe, des *Passaik* von 70 F. und des *Connecticut* von 60 F. Höhe[1].

---

1 ESELING Erdbeschreibung. Th. II.

Unter die bei weitem gröfsten und denen des Niagara nicht weit nachstehenden Fällen gehören aber die des Missouri oberhalb des Einflusses des Maria's in denselben. Auf einer Strecke von 17 engl. Meilen hat der Flufs nach den Messungen von Lewis und Clark im Ganzen 362 Fufs Fall und bei einer Breite von 600 F. stürzt er zuerst 98 F., dann 19 F., bei der dritten Station 47 F. und bei der vierten 26 Fufs über Felsen herab[1].

Auch im nördlichen Theile von America giebt es einige grofse und schöne Wasserfälle[2]. Dahin gehört der *Trout-Fall* am Knee-Lake von 16 Fufs Höhe und vielem Wasser. Die Cascaden des *Hood-River* betragen im Ganzen wohl 200 Fufs, der obere Wasserfall hat nach Messungen eine Höhe von 60 Fufs, der untere wenigstens 100 engl. Fufs, wobei die gesammte Wassermasse des Flusses in zwei Abtheilungen getheilt ist. Die letztern werden *Wilberforce-Wasserfälle* genannt.

Alle Flüsse und Ströme haben *Ueberschwemmungen*, die man in regelmäfsige oder periodische und in unregelmäfsige abtheilen kann; die letztern gehören fast ausschliefslich den kleinern Flüssen an, welche nach starkem Regen in kurzer Zeit bedeutend anzuschwellen pflegen. Bei grofsen Strömen kann dieses deswegen nicht statt finden, weil ihr Gebiet zu grofs, ihr Bette diesem angemessen ist und ein über einem verhältnifsmäfsig kleinen Districte fallender partieller Regen die Gesammtmasse ihres Wassers nicht bedeutend vermehrt, wie man denn auch keine sehr merkliche Vergröfserung derselben durch einen einfallenden Flufs gewahrt, z. B. des Rheins durch die schiffbaren Flüsse Neckar, Main, Mosel u. s. w. Eine Ausnahme hiervon macht die Donau, weil ihre Hauptflüsse, der Lech, die Isar, der Inn, die Traun, die Sawe und Drawe, in einer Ausdehnung der Alpenkette entspringen, die gleichzeitig durch heftige Regen getroffen werden kann, so dafs sie insgesammt theils hierdurch unmittelbar, theils durch den

---

1 Brackenbridge Ansichten von Louisiana. Weimar 1818. S. 64. View of the Valley of the Mississippi, or the Emigrants and Travelers Guide to the West. Second ed. Philad. 1834. p. 241.

2 Franklin Narrative of a Journey to the shores of the Polarsee. Lond. 1823. 4. p. 87 u. 397. Vergl. Nouv. Ann. des Voyages. T. XXIV. p. 423.

vielen dort liegenden schmelzenden Schnee eine bedeutende Vermehrung ihres Wassergehaltes bekommen, weswegen man bei der Donau kaum in irgend einer Jahreszeit gegen Ueberschwemmungen gesichert ist, am meisten noch im Winter.

Die regelmäfsigen oder periodischen Ueberschwemmungen der grofsen Ströme sind eine Folge der periodischen Regen, mit denen sie daher zusammenfallen, oder bei den Strömen unter höhern Breiten auch des schmelzenden Schnees der Hochgebirge, weswegen aufser dem Eisgange im Frühlinge noch eine Anschwellung im Juni einzutreten pflegt. Dahin gehört das jährliche Anschwellen des Rheins, der Donau, des Nils, des Zaire, Senegal und Pegu, der Wolga, des Euphrat, Ganges, des Menan, Jenisei, des Parana zweimal im Jahre, des Rio dolce, Orinoco, Plata, Amazonenflusses, Mississippi, Lorenzflusses u. a. Nach v. Humboldt[1] sind die Schwellen der Ströme in der heifsen Zone keine Folge des schmelzenden Schnees, dessen es dort wenig giebt, sondern einzig der periodischen Regen, wie dieses auch aus der Art der Erscheinung hervorgeht. So schwillt z. B. der Orinoco im Frühlingsäquinoctium anfangs nicht über einen Zoll in 24 Stunden und sinkt zuweilen nochmals im April, erreicht sein Maximum im Juli, bleibt auf seiner Höhe bis 25. August und sinkt dann langsamer, als er gewachsen ist. Der Ganges, Niger und Gambia erreichen, wie alle Flüsse der nördlichen heifsen Zone, ihr Maximum ungefähr gleichzeitig; der Nil bleibt zwei Monate zurück, doch soll er in Abyssinien bereits im April steigen. Indem überhaupt das Steigen anfängt, wenn die Sonne durch den Meridian des Orts gegangen ist, so steigt der Amazonenstrom im December und erreicht sein Maximum im März.

Am berühmtesten und am längsten bekannt sind die Ueberschwemmungen des *Nils*, weil von ihnen die Fruchtbarkeit Aegyptens abhängt, obgleich sie an Gröfse denen mehrerer anderer Flüsse, namentlich des Ganges, Mississippi, Orinoco, Amazonenflusses und anderer, nachstehn. Ehe dieser allgemeine Charakter der grofsen Ströme, namentlich der heifsern Gegenden, bekannt war, hielt man diese Schwellen um so mehr für etwas Aufserordentliches und für schwer erklärbar, als es in Aegypten gar nicht oder nur unmerklich regnet, und man

1 Reisen. D. Ueb. Th. IV. S. 647.

Digitized by Google

schrieb sie den Regengüssen zu, die dann entständen, wenn nördliche Winde die Wolken vom mittelländischen Meere gegen die Gebirge Abyssiniens trieben, wo sie sich ihres Wassergehaltes entledigten, bis neuere Untersuchungen zeigten, dafs sie, wie alle ähnliche, von den periodischen Regen herrühren. Diese beginnen auf den Mondsgebirgen schon im April, sind aber im Mai besonders stark; ob sie dann aber dort noch Schnee auf den höchsten Bergspitzen antreffen, dessen Schmelzung die Wassermenge vermehrt, wie man gewöhnlich annimmt, scheint mir aus den Nachrichten der Reisenden in jenen Gegenden nicht hervorzugehn. Das Wasser kommt in der Mitte Juni in Aegypten an, steigt anfangs in 3 Tagen nur etwa einen Zoll, so dafs die Schwelle bis zur Mitte Juni nur unmerklich bleibt, dann steigt sie stärker, was ungefähr 46 Tage dauert. Die Höhe des Wassers kann vermindert und seine Ankunft verzögert werden, wenn heftige und trockene Nordwinde nicht blofs die Wolken vertreiben, sondern auch den Lauf des Wassers aufhalten. Nach Girard[1] beträgt der Wasserzufluſs des Nils im Hafen zu Syout bei niedrigem Wasserstande 678 Kubikmeter in einer Secunde, bei hohem aber 10247 Kubikmeter. Ehemals bedurfte es nur einer Erhöhung von 16 Fufs vom Nullpuncte des Nilmessers an, wenn die Ueberschwemmung genügen sollte, jetzt aber ist der Boden allmälig erhöht und da bedarf es 24 Fufs. Nach einem Mittel aus 30 Jahren tritt die gröfste Höhe nie früher oder später ein, als in der ersten oder zweiten Woche des August, es herrscht dann grofse Freude, wenn die Ueberschwemmung genügend ist, der Hauptcanal bei Cairo wird mit Feierlichkeit durchstochen und die Bewässerung beginnt. Das Wasser erhält sich bis in den Anfang des Septembers, sinkt dann allmälig und überzieht den hinlänglich durchnäfsten Boden mit fruchtbarem Schlamme, so dafs man eine dreimalige Ernte erhält, zuerst Gemüse, dann Getreide und zuletzt wieder Gemüse. Gegen die Mitte des Mai ist der Strom am kleinsten. In der Gegend von Damiate und Raschid kommen die persischen Schöpfräder der Bewässerung zu Hülfe. In Oberägypten mufs der Strom höher steigen, um zu überschwemmen, als in Unterägypten, und zwar beträgt der Unterschied zwischen dem

1 Sur la Vallée d'Égypte. p. 13.

Digitized by Google

niedrigsten und höchsten Stande des angeschwollenen Stroms in Oberägypten 30 und 35 Fufs, in Mittelägypten 20 und 25 Fufs, in Unterägypten 14 und 15 Fufs. In Oberägypten mufs der Flufs daher über 25 Fufs wachsen, wenn eine Ueberschwemmung eintreten soll, in Unterägypten geschieht dieses aber schon mit 14 Fufs. Die alten Aegyptier kannten schon den Wasserstand genau nach der Angabe des Pegels oder *Nilmessers* zu Memphis[1] und kamen der Bewässerung durch künstliche Mittel, wozu der See Moeris, der Josephscanal und andere Vorrichtungen dienten, zu Hülfe.

Das Wasser, welches im October verschwindet, läfst einen für den Boden höchst fruchtbaren Schlamm zurück; es führt aufserdem aber vielen Sand mit sich und hat hierdurch nicht blofs das *Delta* gebildet, sondern auch dieses und sein eigenes Bette beträchtlich erhöht, so dafs es an einigen Stellen nicht mehr übertritt. Indefs dringt das Wasser von unten durch den lockern Sand, befeuchtet den Boden und macht ihn zur Erzeugung von Zuckerrohr, Indigo und Baumwolle geeignet, die in den überschwemmten Gegenden nicht gedeihen und daher früher in Aegypten unbekannt waren. Gewöhnlich ist das Wasser des Nil sehr rein, klar und milde, wird zum Trinken gebraucht, ist gesund und gilt selbst bis Fezzan als das Bild der Reinheit und Anmuth. Auch im Anfange der Schwellen ist es vollkommen klar, wird hernach grünlich von den stagnirenden Sümpfen der Shangalla und endlich röthlich von der Erde der Sennaar-Terrasse, ist aber dennoch trinkbar und nicht ungesund. Bei sehr niedrigem Stande ist der Strom bis Rosette, anderthalb Stunden vom Meere, salzig, weil das Meerwasser so hoch hinauf eindringt, er kann aber der Seichtigkeit wegen nicht befahren werden; zur Zeit der Schwellen kommt man jedoch in acht Tagen bequem von Cairo nach Assyout[2].

Der Zaire und Senegal haben gleichfalls periodische Ueber-

---

1 Nach Diodorus Siculus; vergl. Plinius H. N. Lib. V. c. 9. L. XXXVI. c. 7. Der jetzige steht Alt-Cairo gegenüber am südlichen Ende d. Insel Rodda und ist eine 50 Fufs hohe Säule auf einem gewölbten Fundamente.

2 Girard in Ann. Chim. et Phys. T. XXVI. p. 221. Vergl. Ritter Erdkunde Th. I., desgl. die Reisen von Shaw, Niebuhr u. a. Pococke Beschreibung des Morgenlandes u. s. w.

Digitized b

schwemmungen, die mit denen des Nil so genau zusammenfallen, dafs man eine Verbindung dieser Ströme durch unterirdische Canäle annehmen wollte. Die Ursache liegt aber weit einfacher in der Gleichheit der periodischen Regen, die die Ueberschwemmungen erzeugen, auch wird durch den Zaire und Senegal Nigritien auf gleiche Weise überschwemmt, als Aegypten durch den Nil. Ebenso nennt man den Pegu wegen seiner regelmäfsigen Ueberschwemmungen den indischen Nil.

Unter die gröfsten und am genauesten bekannten Ueberschwemmungen gehören die des Ganges, welche gleichfalls durch die periodischen Regen, zugleich aber durch das Schmelzen des Schnees auf den Hochgebirgen des Himalaya erzeugt werden. In seinen obern Theilen beginnen die heftigen Regen gleichfalls schon im April, das Wasser steigt anfangs täglich nur etwa einen Zoll, später 3 oder 4 oder 5 Zoll, so dafs der Flufs am Ende Juni schon 15 Fufs gewachsen ist; dann steigt er sehr schnell, und man nimmt an, dafs seine Höhe im Mittel um 32 Fufs vermehrt wird. Das ganze Flachland zwischen ihm und dem gleichfalls anschwellenden Burremputr wird in einen unermefslichen See verwandelt, aus welchem die einzelnen Ortschaften, auf Hügeln gelegen oder durch Dämme geschützt, wie Inseln hervorragen. Der Strom unterscheidet sich stets von dem stagnirenden Wasser durch seine reifsende Bewegung und sein trübes Ansehn. Wehet der Wind ihm entgegen, so steigt die Fluth ungewöhnlich und richtet grofse Verheerungen an. In der Mitte Augusts fängt das Wasser an zu fallen und in den nassen Schlamm wird Reis gesät, welcher vortrefflich gedeiht. Während der Ueberschwemmung findet Binnenschifffahrt zwischen Bengalen und Behar über einen Landstrich von 14900 Quadratmeilen (1800 mehr als ganz Grofsbritannien) statt, indem etwa 30000 Schiffer für die Bedürfnisse von zehn Millionen Menschen sorgen [1].

Die Ueberschwemmungen des Mississippi sind zwar ausnehmend grofs, kommen aber denen des Ganges nicht gleich; gröfser sind die des Parana- und Plata-Stromes, die jährlich zweimal wiederkehren [2], eine Hauptüberschwemmung, die im

---

1 Banks in Phil. Trans. T. LXXI. p. 103.

2 Dobrizhofer Geschichte der Abiponen. Bd. I. S. 67 u. 238.

December anfängt und vom schmelzenden Schnee abgeleitet wird, und eine zweite von vielem Regen im Juni. Das gesammte Flachland am Plata wird dann unter Wasser gesetzt, welches auf die gewöhnliche Weise durch seinen Schlamm fruchtbar macht; die Indianer aber verlassen ihre Hütten und leben während der Zeit auf ihren Kähnen[1]. Der Rio dolce soll gleichfalls durch das Schmelzen des Schnees in den Hochgebirgen von Peru und Chile anschwellen, unter die gröfsten gehören aber die Ueberschwemmungen des Orinoco und vor allen des Amazonenflusses. Wegen des ungleichen Wasserstandes kann die Breite der Ströme gewöhnlich nur für die mittlere Wasserhöhe angegeben werden, ändert sich aber bedeutend bei den Ueberschwemmungen. So ist unter andern der Mississippi bei Natchez zur Zeit des niedrigen Wasserstandes kaum eine engl. Meile breit, während der Schwellen aber 30, und der Orinoco im ersten Falle kaum 0,75, im letztern aber mehr als 15 engl. Meilen breit[2].

Auch kleinere Flüsse wachsen zuweilen zu unglaublicher Höhe an, wie unter andern Lesser[3] von der Okhota erzählt, dafs dieser Flufs nicht blofs die Umgegenden überschwemmt, sondern dabei mitunter über die Spitzen der höchsten Bäume steigt. In solchen seltnen Fällen wird die Wassermasse der gröfsern Ströme, worin sie sich ergiefsen, bedeutend durch sie vermehrt. So erzählt de Saussure, dafs 1570, 1651, 1711 und 1733 die Rhone oberhalb der Mündung der Arve wegen der grofsen zugeführten Wassermasse rückwärts flofs und die Genfer Mühlräder verkehrt umgetrieben wurden.

In Neuholland, wo es der Eigenthümlichkeiten so viele giebt, sind keine periodische Ueberschwemmungen, sondern regellos, etwa alle 4 Jahre, wiederkehrende. Dabei richten indefs namentlich die beiden gröfsten Flüsse der Colonie, der Nepean und der Hawksbury, unermefslichen Schaden an und überschwemmen nicht blofs die Felder, sondern stürzen Häuser um, reifsen Bäume aus und zeigen alle Schrecknisse solcher Ereignisse um so mehr, je unerwarteter sie eintreffen.

---

1 Edinb. Phil. Journ. N. XXV. p. 188.

2 Ritter Erdkunde. Bd. I. S. 250. Vergl. Brackenridge Ansichten von Louisiana. Weim. 1818. S. 60.

3 Reise durch die Wüsteneien des Russ. Asiens. In Otto Hydrographie. 8. 179.

Digitized by Google

Im Ganzen herrscht nämlich dort grofse Dürre, die nur selten durch Regen von der Dauer weniger Tage unterbrochen wird, wobei aber letztere zuweilen so unbeschreiblich heftig sind, dafs sie die angegebenen Folgen herbeiführen müssen[1].

Das Wasser der Flüsse und Ströme ist im Allgemeinen sogenanntes süfses Wasser, mildes, wie das der Quellen, und noch freier von Kohlensäure und Salzen, als das der Brunnen, weil die gröfste Menge desselben aus zusammenfliefsendem Regenwasser, aus dem von geschmolzenem Schnee und aus höher liegenden Quellen, die über Urfelsen entstehn, angesammelt wird. Die Menge dieses Wassers, welches noch obendrein durch die Einwirkung der Luft und Sonne milder wird, ist so überwiegend, dafs die grofsen Ströme überall sogenanntes süfses Wasser haben, jedoch an ihren Mündungen durch die Beimischung des Seewassers eine gröfsere oder geringere Strecke aufwärts salzig werden. Es giebt indefs auch salzige Flüsse, die aus überwiegend reichen Salzquellen entstehn und sich hauptsächlich in salzreichen Gegenden finden. Von dieser Art sind[2] der Bach Wasowka, der in die Wolga fällt, ein anderer, der sich in den See Elton ergiefst und gesättigte Salzsoole enthalten soll; in der Gegend von Algier und Tunis giebt es viele gesalzene Bäche und in Chili soll ein kleiner Flufs dieses Mineral an den Ufern in Krystallen absetzen. Dafs es auch kleinere Bäche geben mufs, die sonstige mineralische Substanzen enthalten, folgt schon aus dem, was bereits über den Gehalt der Quellen gesagt worden ist[3]. Am ausgezeichnetsten in dieser Hinsicht ist der *Rio Vinagre*, auch *Gran Vinagre* genannt, welcher am Vulcan Purace in einer Höhe von 10871 Fufs entspringt, zwei sehr schöne hohe Wasserfälle bildet und nach v. Humboldt[4] keineswegs Kohlensäure, wie man früher glaubte, sondern freie Salzsäure und hauptsächlich Schwefelsäure enthält. Nach der Analyse von de Rivero[5] ist in einem Liter seines Wassers 1,08 Gran

---

1 John Liddiard Nicholas Reise nach Neuseeland. Weimar 1813. S. 394.

2 Otto Hydrographie. S. 189.

3 S. *Quellen*. Bd. VII. S. 1105 ff.

4 Philos. Magaz. Bd. LXV. S. 108.

5 Ann. Chim. Phys. Bd. XXVII. p. 113.

Digitized by Google

Schwefelsäure, 0,184 Gran Salzsäure, 0,24 Gran Thonerde, 0,16 Gr. Kalk und eine Spur von Eisen enthalten.

Das Wasser treibt nach mechanischen Gesetzen durch seinen Stofs gröfsere und kleinere Steine vor sich hin, deren Gröfse zur Geschwindigkeit seines Fliefsens in einem gewissen Verhältnisse steht[1]. Sie müssen daher stets kleiner werden, je langsamer die Bewegung des Wassers ist, und in der Nähe der Mündungen, oder während der Strom durch bedeutende Strecken Flachland fliefst, wird vorzugsweise nur der feinere Sand fortgeschoben, weswegen die Flüsse in diesen Gegenden so stark versanden, dafs ihre Betten, wie beim Rhein der Fall seyn soll, zuweilen höher liegen, als die umliegenden Gegenden, und Ueberschwemmungen daher höchst gefährlich werden. Zugleich aber führt das Wasser die leicht in ihm zergehende Thonerde, sehr fein zerriebenen Sand, vorzüglich aber die Bestandtheile der Dammerde, die vegetabilischen und animalischen Stoffe derselben, mechanisch mit sich fort, erhält sie eine geraume Zeit in sich schwebend, wird dadurch trübe, läfst sie aber auf der Oberfläche derjenigen Strecken zurück, in die es, wie durch ein Filtrum, versiegt. Die Betten der Flüsse sind durch die Länge der Zeit so vollständig ausgewaschen, dafs sich in ihnen solche feinere und leichtere Substanzen nicht mehr finden, so wie aber das Wasser über die Ufer tritt, reifst es insbesondere in waldigen Gegenden die durch Vegetation jährlich erneuerten leichtern Substanzen mit sich fort, wird dadurch trübe und setzt auf den Feldern des tiefer liegenden Flachlandes, wo es sich weiter ausbreitet und daher langsamer fliefst, den fruchtbaren Schlamm ab, welcher bei den genannten grofsen Wasserschwellen die Felder düngt. Aus leicht begreiflichen Gründen ist nicht jeder Schlamm gleich fruchtbar und manche Ueberschwemmungen, insbesondere wenn sie durch Deich-Brüche verursacht werden, überdecken ausgedehnte Strecken mit einer solchen Menge unfruchtbaren Sandes, dafs sie dadurch auf längere Zeit zur Cultur unfähig werden.

Die Quantität des *Schlammes* im trüben Wasser, oder die Menge der fortgerissenen Theile im Verhältnifs zu der des Wassers, ist bei verschiednen Flüssen und selbst bei einzel-

---

1 Vergl. *Stofs.*

Digitized by

nen Ueberschwemmungen verschieden, im Allgemeinen schwer bestimmbar, weil man das Wasser nur an einzelnen Stellen schöpfen kann und dann von diesen kleinen Proben auf die gesammte Masse schliefsen mufs, auf jeden Fall aber ist die Menge im Ganzen ausnehmend grofs. Der Nil soll nach Manfredi $\frac{1}{137}$ seiner Masse Schlamm enthalten, der Rhein bei mäfsiger Trübung $\frac{1}{174}$, nach Hartsoeker zur Zeit der Schwellen $\frac{1}{100}$. Barrow[1] fand in dem stets trüben und davon benannten Gelben-Strome $\frac{1}{100}$ Schlamm, Zanotti[2] will das Verhältnifs des Schlammes und des Wassers beim Rheine $= \frac{1}{161}$ und ein anderes Mal $= \frac{1}{110}$, bei der Tiber aber $= \frac{1}{110}$ dem Gewichte nach gefunden haben. Nach genauern Messungen von Everest[3] enthielt das Wasser des Ganges vom 15. März bis 15. Juni 3,8 Grains, vom 15. Juni bis 15. Oct. 34 Grains, vom 15. Oct. bis 15. März 7,8 Grains im Quart. Zur Zeit der Schwellen betrug die Wassermenge desselben vier Monate hindurch 494208 engl. Kubikfufs, im Winter fünf Monate lang 71200 Kubikfufs und während der Dürre drei Monate hindurch 36000 Kubikfufs in einer Secunde, wonach die Masse seines Schlammes jährlich 6368′077440 engl. Kubikfufs beträgt. Werden diese Bestimmungen auf ein gewisses Verhältnifs der Mengen reducirt, so ergiebt sich, dafs das Wasser des Ganges im Mittel 17,71 Grains im Quart enthält. Da aber das Quart den vierten Theil eines Gallons ausmacht, letzterer 277,274 Kubikzoll enthält und ein Kubikzoll reines Wasser 252,458 Grains wiegt[4], so ergiebt sich, dafs der Schlamm $\frac{1}{98,13}$, also etwas mehr als 0,01 beträgt. Sehr verschieden von diesem Resultate ist dasjenige, was Leonard Horner[5] aus seinen Messungen am Rhein erhielt. Zu diesem Behuf wurde das Wasser durch einen geeigneten Apparat, eine verkorkte und nach dem Herabsenken geöffnete Flasche, aus der Tiefe des Flusses geschöpft, in ein flaches Gefäfs gegossen; nach dem Niedersinken des Schlammes wurde das geklärte Wasser mit einem Heber abgezogen und der Boden-

1 D'Aubuisson Géognosie. T. I. p. 58.

2 Comm. Soc. Bonon. T. VI. p. 112.

3 Journ. of Asiatic Soc. Calcutta 1832. Mars. Daraus in Bibl. univ. 1834. p. 47.

4 S. Art. *Mafs*. Bd. VI.

5 Edinburgh New Phil. Journ. N. XXXV. p. 102.

Digitized by Google

satz getrocknet. Hiernach enthielt das bei niedrigem Wasserstande im August geschöpfte, gelblich getrübte Wasser $\frac{1}{10111}$ und das im November nach anhaltendem Regen untersuchte, tiefer gefärbte Wasser $\frac{1}{1715}$ getrockneten Schlamm. Dennoch führt der Rhein bei Bonn täglich 145980 Kubikfufs feste Substanzen mit sich fort. Sind die beiden zuletzt angegebenen, auf genauen Messungen beruhenden Bestimmungen richtig, so ergiebt sich daraus die unverhältnifsmäfsig gröfsere Menge des Schlammes in dem Wasser der Ströme, die vorzugsweise zur Düngung der Felder dienen. Die Bestandtheile des Schlammes sind nur wenig bekannt, inzwischen kennen wir sie gerade beim Nil, wobei diese Substanz wegen ihrer uralten Befruchtung des Landes jeder Zeit das meiste Interesse erregt hat. Nach Girard[1] besteht derselbe aus 11 Theilen Wasser, 9 Th. Kohlenstoff, 6 Th. Eisenoxyd, 4 Th. Kieselerde, 4 Th. kohlensaurer Kalk und 48 Th. Thonerde.

Einige Flüsse verlieren sich unter der Erde und kommen an entferntern Orten wieder zum Vorschein, wie vor allen Dingen bei denen der Fall ist, die sich in den Höhlen finden. Die Alten erzählten hierüber vieles, aber meistens Fabeln, namentlich vom *Alpheus* in Arkadien, welcher nach Ovid[2] und Plinius[3] unter dem Meere durchgehn und in der Quelle Arethusa in Sicilien wieder zum Vorschein kommen soll, wovon schon Strabo[4] die Ungereimtheit einsah. Von Alters her berühmt ist der *Timavus*, welcher von Fiume aus nach Canciano fliefst, dort an dem Fufse eines Berges in eine Höhle fällt und, nachdem er wieder zum Vorschein gekommen ist, abermals in einen Abgrund stürzt, aus welchem er durch sieben theils gröfsere, theils kleinere Oeffnungen bei Divino wieder hervorbricht. Am bekanntesten ist in dieser Hinsicht die *Rhone*, welche unterhalb Genf gegen 300 Fufs breit ist, weiterhin bei Fort Écluse bis nicht viel über 50 Fufs zusammengedrängt wird, zwischen und über grofse Steinmassen hinrauscht und endlich unter einem Felsen ganz verschwindet (*Perte du Rhône*), aus welchem sie nach etwa 60 Schritten wieder hervorbricht. Bei hohem Wasser fliefst ein Theil über diese Fel-

1 Observations sur la Vallée d'Égypte p. 64.
2 Metamorph. Lib. XV. v. 273.
3 Hist. Nat. L. II. c. 103. L. V. c. 9.
4 Geogr. Lib. VI.

Digitized by

sen hin[1]. Der Fluſs Mole in Surrey verschwindet bei Darking und kommt bei Leatherhead brausend wieder hervor, wenn dieses anders der nämliche Fluſs ist. Die Guadiana verschwindet nicht weit unterhalb ihres Ursprungs und kommt nachher in einem See wieder zum Vorschein. Mehrere Flüsse dieser Art giebt es in der Schweiz, in Nordamerica und sonst an verschiednen Orten[2], unter andern nach Pallas[3] der *Sym-Fluſs*, wobei dieses Phänomen noch auffallender ist, weil er vor seinem Versinken schon eine beträchtliche Gröſse erhalten hat. Der Fluſs *Gaule* in Norwegen verschwand im Jahre 1344 in die Erde, brach aber nach einigen Tagen mit solchem Ungestüm wieder hervor, daſs er das angrenzende Thal mit Erde und Steinen erfüllte, sich einen Damm bildete, diesen endlich durchbrach und einige Kirchen nebst 48 Bauerhöfen zerstörte, wobei 250 Menschen umkamen[4]. In Salten's Vogtei bei Gillesdaal stürzt sich ein groſser schöner Wasserfall in einen tiefen Trichter, den Helvedskiedel (*Höllenkessel*) in Kalkfelsen, verschwindet darin und kommt weit entfernt in der Nähe des Meeres wieder zum Vorschein[5].

Einige Flüsse versiegen im Sande, indem sie allmälig abnehmen, bis sie gänzlich verschwinden oder in unbeträchtlich groſsen Lachen das Ende ihres Laufs erreichen. Selbst der Rhein verliert einen groſsen Theil seines Wassers in den Niederungen Hollands, bei den kleinern Flüssen in Brasilien ist das Austrocknen in regenarmen Jahren nicht ungewöhnlich[6] und ebendieses ist der Fall in allen Ländern mit tropischen Regen; am meisten bei den Flüssen in den africanischen Wüsten, indem Hitze und Sandboden von unermeſslicher Tiefe vereint diese Wirkung erzeugen. Der Poorally in Beludchistan ist in der Regenzeit zwei engl. Meilen breit, nachher aber trocknet derselbe ganz aus, so daſs sein

---

1 Boissel Voyage Pittoresque et navigation sur une partie du Rhône. Vol. I.

2 Ebeling Erdbeschreib. Bd. II. S. 674. Bd. IV. S. 81. Vergl. Guettard in Mém. de l'Acad. 1758. p. 271.

3 Reisen. Bd. II. S. 40.

4 T. Bergmann phys. Beschreib. d. Erdkugel. Ueb. von Röhl. Greifsw. 1780. 8. Bd. II. S. 195.

5 Bergman Reisen. Bd. II. S. 64.

6 H. Koster Reisen in Brasilien. A. d. Engl. Weim. 1817. S. 165.

weites Flufsbette den Reisenden als grofse Strafse dient[1]. Ebendieses ist der Fall bei mehrern andern Flüssen jener Gegenden, die beim Regen mächtig angeschwollen sind, während der trocknen Jahreszeit aber ganz oder streckenweise versiegen[2]. Am ausgezeichnetsten dürfte in dieser Hinsicht der *Orange-River* im südlichen Africa seyn. Dieser entspringt in den Gebirgen, hat während des ganzen Sommers hinlängliches Wasser in Folge der Gewitter und periodischer Regen, so dafs er selbst für Kriegsschiffe fahrbar ist. Im obern Laufe drängt er sich zwischen Felsen durch, zwischen denen die ausgerissenen Bäume zuweilen einen Damm bilden und grofse Ueberschwemmungen verursachen, nach der Küste hin wird er seichter und versiegt im Winter gänzlich nach einem Laufe von 150 Meilen und der Aufnahme vieler grofser Flüsse[3]. Auch der Krooman oder Kuruhman in Africa unter 28° 50′ S. B. bricht als starker Strom aus unterirdischen Felsenschluchten hervor und versiegt dann bald nachher für immer im Sande[4]. Merkwürdig ist, dafs drei grofse Flüsse, die man in Neu-Süd-Wallis kennen gelernt hat, der Lachlan, der Castlereagh und der Macquarie, in Sümpfen versiegen[5].

Die Geschwindigkeit des Fliefsens wird vermindert und der Wasserstand bei Flüssen dagegen vermehrt, wenn der Wind ihrem Strömen entgegenweht. Bei kleinern und schnell fliefsenden Flüssen ist dieses weniger auffallend, sehr bedeutend aber und daher allgemein bekannt bei allen Flüssen, die vor ihrer Mündung in die See durch eine bedeutende Strecke Flachland in gerader Richtung fliefsen, z. B. der Themse, der Elbe, dem Rhein u. s. w. Der entgegenwehende Wind hält nicht blofs die Strömung des Wassers auf und bewirkt dadurch eine Anschwellung, sondern treibt auch zuweilen das Seewasser stromaufwärts, wie der Geschmack ausweist, so dafs die hierdurch entstehenden kurze Zeit dauernden, aber

---

1 H. Pottinger Reisen durch Beloochistan und Sinde. Weimar 1817. S. 40.

2 Ebend. S. 444 u. a. a. O.

3 Lichtenstein Reisen. Bd. II. S. 68.

4 Campbell Travels in South-Africa. Lond. 1822. II T. 8. T. II p. 225.

5 Journal of an Expedition in the Interior of New-South-Wales. By John Oxley. Lond. 1820. 4.

nicht selten sehr bedeutenden Anschwellungen keineswegs räthselhaft sind. Dagegen gehört die Erscheinung, die vom La Plata erzählt wird[1], unter die ganz unglaublichen. Im Monat April 1793 blies ein anhaltender heftiger Wind von ungewöhnlicher Stärke diesem Strome entgegen und häufte die unermefsliche Wassermasse desselben bis zehn französische Meilen entlang auf, so dafs dort das ganze Land überschwemmt, unterhalb aber das Strombette so völlig leer wurde, dafs man trocknen Fufses darin gehn konnte; früher versunkene Schiffe kamen dadurch wieder zum Vorschein, unter andern ein englisches, welches 1762 untergegangen war. Die Anwohner stiegen in das Bette hinab und bemächtigten sich der Schätze in diesen Schiffen, die so lange unter dem Wasser verborgen gelegen hatten; die Erscheinung dauerte drei Tage und dann kehrte das Wasser mit unglaublicher Gewalt in sein altes Bette wieder zurück.

Eine im Kleinen häufig vorkommende und nicht auffallende, im Grofsen aber ganz unglaubliche und schwer zu erklärende Erscheinung bei den Flüssen ist diejenige Bewegung, die man bei der Elbe und andern Strömen das *Rastern*, bei der Dordogne *Mascaret*, beim Ganges *Bore* oder *Kenterung*, beim Guana und Amazonenflusse *Barre* oder *Pororoca*, und sonst verschieden zu benennen pflegt. Das Phänomen besteht im Ganzen darin, dafs die Wellen des Meeres schnell und mit hörbar rauschender Bewegung eine lange Strecke stromaufwärts sich bewegen, stets kleiner werden und endlich verschwinden. Ueber die Erscheinung, wie sie sich im Grofsen zeigt und so, dafs es schwer hält, den angegebenen Thatsachen Glauben beizumessen, theile ich nur von zweien die Beschreibungen von Augenzeugen mit, gegen deren Glaubwürdigkeit mir keine Einwendungen bekannt sind, die ich jedoch unmöglich verbürgen kann.

Nach Lagrave Sorbie[2] zeigt sich der Mascaret oder auch *Wasserratte*[3] (*Rat d'eau*) an der untern Dordogne zu

---

1 Edinburgh Phil. Journ. N. XXV. p. 188.

2 Journ. de Phys. LXI. p. 286. G. XXXIII. 407.

3 Nach Noyer ist die Wasserratte (*Rat de marée*) eine hiervon verschiedene Erscheinung und besteht darin, dafs das Meer an einigen Stellen den Schlamm aus dem Grunde aufwühlt und zusammt

der Zeit, wenn das Wasser niedrig steht, und dann zuweilen täglich zweimal, die Schiffer sagen sein Erscheinen aus dem tiefen Wasserstande und der Fluthhöhe voraus. In geringer Entfernung von Bec-d'Ambes, wo die Dordogne sich in die Garonne ergiefst, häuft sich eine Wassermasse von der Gröfse einer Tonne, zuweilen selbst eines kleinen Hauses, auf, läuft längst der Küste mit einer Geschwindigkeit hin, die das schnellste Pferd ereilen würde, und mit einem so furchtbaren Getöse, dafs die Thiere erschreckt davon laufen. Gänse und Enten verbergen sich im Schilf, harte Körper, z. B. die steinernen Einbaue und Kaye, werden zerstört, Steinmassen werden auf 50 Schritte weit fortgerissen, Bäume umgestürzt und Fahrzeuge versenkt oder zerbrochen, insbesondere wenn sie am Ufer fest aufsitzen. Zu St. André zertheilt sich der Wasserberg in Wellen, welche die Hälfte der Flufsbreite einnehmen, verliert sich dann, kommt in seiner ursprünglichen Gestalt zwischen Asque und Lile wieder zum Vorschein, dann als Wellen bis Tersac, von da bis Darveire wieder in seiner eigentlichen Gestalt, von da läuft er längst der Küste bis Fronsac, verbreitet sich dann über den ganzen Strom, geht mit schrecklichem Getöse vor Libourne vorbei, wo er die Rhede in Aufruhr bringt, und erscheint zuletzt, jedoch mit geringer Kraft, zu Genisac-les-Réaux und zu Peyresite. Der ganze durchlaufene Raum beträgt sonach 8 bis 9 französ. Meilen.

Sehr genau übereinstimmend mit dieser Beschreibung ist diejenige, die Condamine von der Pororoca macht. Er beobachtete dieses Phänomen zwischen Macapa und dem Cap Fort, besonders der Mündung des Arawary gegenüber. Zur Zeit der höchsten Fluth steigt dann das Wasser nicht wie gewöhnlich während sechs Stunden allmälig, sondern erlangt in ein oder zwei Minuten seine gröfste Höhe. Man hört dann schon auf eine Stunde weit das schreckliche Getöse, welches wächst, und dann erblickt man ein 12 bis 15 Fufs hohes Vorgebirge von Wasser, dem bald ein zweites, ein drittes, ja ein viertes und fünftes und selbst noch mehrere folgen. Alles, was diesen im Wege steht, wird zertrümmert und zerstört, grofse Stücke Erdreich werden fortgestofsen, starke Bäume ausgeris-

---

den Fischen auf benachbarte Sandbänke wirft. S. Poggendorff Ann. II. 427.

sen und die Fahrzeuge, nicht blofs die kleinen, sondern selbst die gröfsern, haben kein anderes Mittel, sich der Wuth dieser Wellen zu entziehn, als wenn sie an einer tiefern Stelle vor Anker gehn. Condamine fand bei aufmerksamer Beobachtung, dafs sich das Phänomen nur da zeigte, wo die Fluth in einen engen Canal trat oder auf eine Sandbank traf, dafs es hinter diesen und über tiefern Stellen aber aufhörte.

Brunelli[1] beobachtete das Phänomen lange Zeit beim Flusse Guama, welcher bei der Stadt Para fliefst, und beschreibt dasselbe auf ganz gleiche Weise. Es tritt nur bei hohen Fluthen ein und zeigt sich oberhalb einer Insel, Nanens Pororoca, wovon es diesen Namen bei den Indianern erhalten hat. Anfangs entsteht ein furchtbares Getöse, dann ollen drei bis vier schäumende Wellen den Strom hinauf, reten in das Feld hinaus, reifsen Steine, Bäume und Schiffe nit sich fort; wo der Flufs zwischen engen Ufern strömt, st die Gewalt des Wassers ganz unglaublich, vertheilt sich ber bei weiterer Fortsetzung und verschwindet sowohl in em Hauptstrome als auch in den Nebenflüssen allmälig. Meitens kehrt die Erscheinung mehrere Tage nach einander wieer, aber mit verminderter Stärke, und insbesondere suchen ie Schiffer ihr hinter der genannten Insel zu entgehn, weil e sich sonst für verloren halten. An der Mündung des Amaonenflusses soll das Phänomen noch ungleich stärker seyn, s Condamine dasselbe weiter aufwärts kennen lernte. Nach oyer[2] heifst diese Erscheinung, die er selbst anhaltend eobachtete, zu Cayenne *Barre* und seine Beschreibung stimmt ollkommen damit überein, was hier darüber mitgetheilt ist.

Die Erklärung der aufserordentlichen Gewalt, welche das Wasser hierbei ausübt, ist nicht eben leicht. Brunelli meint egen der Weite der Ströme an denjenigen Stellen, wo der roroca gebildet wird, und dem grofsen Rauminhalte unterlischer Canäle werde eine überwiegende Menge Wasser in n Flufs zusammengedrängt. Weit mehr der Sache angessen ist die Ansicht von Noyer, welcher übereinstimmend mit

1 Comm. Soc. Bonon. T. V. I. p. 249. Journ. de Phys. T. III. 436. Ich finde das Phänomen auch *Prororoca* und *Proroca* genannt.

2 Ann. maritimes. 1824. Juil. p. 177. Vergl. Poggendorff Ann. 427.

Condamine angiebt, dafs gerade über tiefen Stellen die Erscheinung ausbleibt, statt dafs das Wasser der hohen Fluthen gegen die Strömungen über seichten Stellen ankämpft, wobei dann die Gewalt durch den Widerstand wächst, welchen die Hindernisse der Untiefen entgegenstellen. Sorbie leitet gleichfalls diese Wirkung von der Fluth ab, die in gerader Richtung gegen die Mündung der Dordogne stöfst, deren Bette die bedeutende Wassermasse nicht aufzunehmen vermag, und die sich beim Amazonenflusse und dem Ganges bis 500, ja 600 Lieues aufwärts noch merkbar zeigt. Im Allgemeinen ist diese Ansicht gewifs richtig und stimmt auch genau mit den Bedingungen überein, unter denen sich die Pororoca zeigt; immerhin aber bleibt die aufserordentliche Geschwindigkeit der Bewegung und die unglaubliche Gewalt dieser aufwärts rollenden Wellen etwas räthselhaft. Die Thatsachen, namentlich die unter dem Namen Mascaret in der Dordogne vorkommenden Erscheinungen, können übrigens nicht wohl in Zweifel gezogen werden, wenn man auch annehmen will, dafs die Beschreibung mit sehr lebendigen Farben aufgetragen ist, denn auch Bremontier[1] erzählt dieselben auf gleiche Weise und sucht die im Ganzen ähnliche Erklärung mit triftigen Gründen gegen mögliche Einwürfe zu vertheidigen.

M.

Strontium.

Strontium; Strontium; *Strontium*. Ein dem Baryum sehr ähnliches Alkalimetall, gleich diesem nur in sehr kleiner Menge, von H. Davy dargestellt und von ganz ähnlichen Eigenschaften. Seine wichtigsten Verbindungen sind:

Der *Strontian* oder die *Strontianerde* (44 Strontium auf 8 Sauerstoff), grau-weifs, porös, nicht wohl schmelzbar, alkalisch. Er bildet mit wenigem Wasser ein weifses, schmelzbares Hydrat, mit mehr Wasser Krystalle und löst sich in einer noch gröfsern Menge zu Strontianwasser auf. Die Salze, welche er mit den Säuren liefert, sind specifisch leichter als die des Baryts und nicht giftig; ihre wässerigen Lösungen werden gleich denen der Barytsalze durch Schwefelsäure gefällt,

1 Journ. de Phys. T. LXXIX. p. 220.

doch nicht bei so grofser Verdünnung. Verbrennenden Substanzen beigemengt ertheilen sie ihrer Flamme oft eine Purpurfarbe. Der *schwefelsaure Strontian* findet sich natürlich als *Cölestin* und der *kohlensaure* als *Strontianit.*

Das *Strontiumhyperoxyd* ist nur als ein in glänzenden Schuppen krystallisirendes Hydrat bekannt.

Das *Chlorstrontium*, *Schwefelstrontium* und *Phosphorstrontium* verhalten sich den entsprechenden Verbindungen des Baryums ganz ähnlich.

G.

Stundenkreis und Stundenwinkel.

Circulus horarius; Cercle horaire; *Horary circle.*

Ist jeder gröfste Kreis der Himmelskugel, der durch die beiden Pole des Aequators geht und daher auf dem Aequator senkrecht steht. Ist AQ der Aequator, Pp die Weltaxe und P der Nordpol, so wie p der Südpol des Aequators, so sind alle durch P und p gehende Kreise, wie PSp, Stundenkreise. Dieses Wort *Stundenkreis* ist daher mit *Abweichungskreis*[1] gleichbedeutend. Fig. 403.

Ist Z das Zenith des Beobachtungsorts, so heifst derjenige Stunden- oder Declinationskreis, der durch die beiden Pole P, p und durch das Zenith Z geht, der *Meridian* des Beobachters und dieser Meridian PApQ wird als der *erste* der Stundenkreise oder als derjenige angesehn, von welchem man die Stundenkreise zu zählen anfängt. Die Winkel, welche die andern Stundenkreise mit dem ersten oder mit dem Meridiane bilden, heifsen *Stundenwinkel* (*Angulus horarius*; Angle horaire; *Horary angle*). So ist der Winkel APS der Stundenwinkel des Stunden- oder Abweichungskreises PSp. Diese Winkel werden von der südlichen Hälfte PAp des Meridians und zwar in der Richtung von Süd gen West von 0° bis 360° oder, was dasselbe ist, von 0^{h} bis 24^{h} gezählt. Der Stundenwinkel ist also auch die Neigung der Ebene des Stundenkreises gegen die Ebene des Meridians, oder auch der Stundenwinkel ist gleich dem Bogen des Aequators, welcher

1 S. *Abweichungskreis.* Bd. I. S. 169.

zwischen dem Abweichungskreise und dem Meridiane enthalten ist. So ist der Bogen AIV der Stundenwinkel des Abweichungskreises PSp.

Wenn die Sonne im ersten Abweichungskreise oder im Meridian PZp steht, so ist es bekanntlich Mittag und wir zählen 12^h oder besser 0^h. Rückt dann die Sonne S vermöge ihrer täglichen Bewegung gen Abend oder gen West so weit vor, dafs ihr Abweichungskreis PSIV mit dem Meridiane den Stundenwinkel APIV oder AIV von 60 Graden, d. h. von 4 Stunden, bildet, so ist es 4^h wahre Sonnenzeit, und ebenso ist es 8^h wahre Zeit, wenn die Sonne im Abweichungskreise PVIIIp ist, dessen Stundenwinkel APVIII oder AVIII gleich 120 Graden oder gleich 8 Stunden ist u. s. w. Kommt die Sonne in den Abweichungskreis PQp, d. h. in die nördliche Hälfte des Meridians, so ist es 12^h wahre Zeit oder Mitternacht und zwei Stunden später, wo sie in die nördliche Hälfte des Stundenkreises PIIp tritt, wird es 14^h wahre Zeit oder 2^h Morgens seyn, bis sie endlich wieder von der Ostseite in den südlichen Theil PAp des Meridians tritt, wo es wieder Mittag ist und ein neuer *wahrer Sonnentag* anfängt.

Setzt man in dem Vorhergehenden statt der wahren Sonne, die wir alle täglich am Himmel sehn, die *mittlere Sonne*, welche sich die Astronomen als eine blofse imaginäre Hülfsgröfse zu ihren Rechnungen ausgedacht haben, so wird es ebenso 0^h, 2^h, 4^h, ... *mittlerer Sonnenzeit* seyn in dem Augenblicke, wo diese mittlere Sonne in die Stundenwinkel PA, PII, PIV ... tritt, die vom Meridiane um 0, 30, 60 Grade, d. h. um 0, 2, 4 ..... Stunden westlich entfernt sind. Setzt man endlich statt der wahren Sonne den *Frühlingspunct* des Aequators[1], so wird es 0, 2, 4 .... Uhr *Sternzeit* seyn, wenn dieser Frühlingspunct im Stundenwinkel PA, PII, PIV.. ist u. s. w.

Der gemeinschaftliche Durchschnitt aller dieser Stundenkreise ist die Weltaxe Pp. Denkt man sich im Mittelpuncte dieser Himmelssphäre den Mittelpunct der Erde, so werden die Ebenen jener himmlischen Stundenkreise auch die Oberfläche der Erde in gröfsten Kreisen schneiden und diese irdi-

---

1 S. *Frühlingspunct*. Bd. IV. S. 528.

schen Stundenkreise sind diejenigen, die in der Geographie und in unsern Landcharten unter dem Namen der *Breitenkreise* bekannt sind[1]. Ebenso wird die Weltaxe P p die Oberfläche der Erde in ihren beiden Polen, dem irdischen Nord- und Südpol, treffen und der Theil der Weltaxe, der zwischen den beiden Erdpolen enthalten ist, wird die *Erdaxe* oder diejenige gerade Linie seyn, um welche sich die Erde täglich in 24 Stunden Sternzeit oder in $23^h\ 56'\ 4'',09133$ mittlerer Sonnenzeit um sich selbst von West gen Ost dreht.

Da man unsere ganze Erde gegen die Sphäre des Himmels als unendlich klein annehmen kann, so sieht man, dafs jeder mit der Weltaxe parallele Stift, wo immer auch dieser auf der Oberfläche der Erde aufgestellt werden mag, als ein Stück jener Weltaxe selbst betrachtet werden kann. Denkt man sich nun diesen Stift P p als einen undurchsichtigen Stab und als den Durchmesser einer Glaskugel P A p Q, die man auf ihrer Oberfläche durch 12 grofse, durch P und p gehende Kreise in 24 gleiche Theile eingetheilt hat, und hängt man diese Glaskugel so auf, dafs dieser Stift P p der Weltaxe parallel und der Kreis P A p Q in der Ebene des Meridians liegt, so wird der Schatten dieses Stifts immer in die Ebene desjenigen Stundenkreises fallen, in welchem eben die Sonne sich aufhält, also auf die nördliche Hälfte des Stundenkreises P A, P II, P IV ..., wenn die Sonne in der südlichen Hälfte desselben Stundenkreises steht, so dafs man daher, wenn unsere Zeichnung diese Glaskugel vorstellt, statt VIII, X, XII ... nur 8^h, 10^h, 12^h .. des Morgens und statt XII, XIV, XVI... nur 0, 2, 4 .. des Abends setzen darf, um eine *Sonnenuhr* der einfachsten Art zu erhalten. Denkt man sich dann auf der Nordseite dieser Glaskugel irgend eine ebene oder krumme Fläche in einer gegen diese Kugel bestimmten Lage, so wird man nur die Durchschnittslinien dieser Fläche mit den Ebenen jener Stundenkreise P A p, P II p, P IV p ... suchen, um die *Schattenlinien* zu erhalten, auf welche der Schatten jenes Stifts P p in dem Augenblicke fallen mufs, wenn es eben 0, 2, 4 .. Uhr wahre Zeit ist, so dafs man jetzt jene Glaskugel, die nur zur ersten Construction diente, wieder entbehren und daher eine Sonnenuhr auf irgend einer gegebenen Fläche,

---

1 Vergl. Art. *Breite.* Bd. I. S. 1196.

selbst ohne alle Rechnung, verzeichnen kann. Wie aber diese Schattenlinien für jede Fläche, ohne jene mechanische Construction, blofs durch Rechnung mit der gröfsten Schärfe gefunden werden können, wird in der *Gnomonik*[1] gelehrt.

Der *Stundenwinkel* ist durch das ganze Gebiet der Astronomie von sehr ausgebreitetem Gebrauche. Bemerken wir zuerst, dafs für jedes Gestirn, selbst für bewegliche, wie Planeten und Kometen, die Summe des beobachteten Stundenwinkels und der Rectascension desselben immer gleich der *Sternzeit* dieser Beobachtung ist. Um dieses zu zeigen, sey Fig. 409. M ♈ N S′ der Aequator und M N der geradlinige Durchschnitt desselben mit dem Meridiane, so dafs M auf der nördlichen und N auf der südlichen Seite stehe. Der Frühlingspunct ist bekanntlich der Durchschnittspunct des Aequators mit der Ekliptik; dieser Punct liegt also im Aequator. Er werde in der Zeichnung durch ♈ ausgedrückt. Endlich treffe der verlängerte Stunden- oder Abweichungskreis irgend eines Gestirns den Aequator im Puncte S. Dieses vorausgesetzt ist ♈ S die Rectascension dieses Gestirns oder die gerade *Aufsteigung* desselben und diese wird von West gen Ost bis 360° gezählt. Ferner ist nach der oben gegebenen Erklärung M S der *Stundenwinkel* des Sterns, so wie M ♈ der Stundenwinkel des Frühlingspuncts, d. h. die *Sternzeit* desjenigen Augenblicks ist, wo das Gestirn S in diesem seinen Stundenwinkel MS beobachtet worden ist. Die Stundenwinkel werden aber, wie bereits erinnert wurde, in einer der Rectascension entgegengesetzten Richtung, also von Süden M gen West bis 360° gezählt. Wir haben daher

Rectascension des Sterns . . .	♈ S
Stundenwinkel des Sterns . .	M S

und beider Summe = ♈ S + S M oder ♈ M, das heifst, gleich der Sternzeit der Beobachtung. Dieselbe einfache Gleichung findet auch für alle andere Lagen des Sterns und des Frühlingspuncts statt. Trifft z. B. der Abweichungskreis eines andern Sterns den Aequator im Puncte S′, so ist:

Rectascension des Sterns . .	♈ M S′ oder S M ♈
Stundenwinkel des Sterns	M ♈ S′
und beider Summe	M ♈ S′ + S′ M ♈ oder 360 + M ♈.

1 Vergl. *Sonnenuhr.*

Da aber bei allen unsern Rechnungen zwei Winkel, die um volle 360 Grade von einander verschieden sind, als identisch betrachtet werden, so ist die letzte Summe auch gleich M Υ, das heifst also, wieder gleich der Sternzeit der Beobachtung.

Dieses giebt daher ein ganz vorzügliches Mittel, die Sternzeit in jedem Augenblicke zu bestimmen oder, was dasselbe ist, die Correction der zu den astronomischen Beobachtungen gebrauchten Uhr gegen Sternzeit zu finden. Zwar sind unsere Instrumente nicht dazu eingerichtet, den Stundenwinkel der Gestirne unmittelbar zu beobachten. Die meisten derselben geben nur die Entfernung der Gestirne vom Zenithe Z oder die sogenannte *Zenithdistanz* an; allein aus ihr kann man dann den Stundenwinkel sehr leicht durch Rechnung finden. Ist nämlich $ZS = z$ die mit dem Instrumente beobachtete Zenithdistanz eines bekannten Gestirns, dessen Poldistanz $PS = p$ und dessen Rectascension gleich a ist, so hat man, wenn man die ebenfalls bekannte geographische Breite des Beobachters $\varphi = 90 - PZ$ setzt, in dem sphärischen Dreiecke PSZ Fig. 408.

$$\text{Cos. } s = \frac{\text{Cos. } z - \text{Sin. } \varphi \text{ Cos. } p}{\text{Cos. } \varphi \text{ Sin. } p},$$

wo $s = ZPS$ den gesuchten Stundenwinkel des Sterns S bezeichnet. Kennt man hierdurch s, so ist auch die Sternzeit t der Beobachtung bekannt, da $t = s + a$ ist, und dieser Werth von t, mit dem Stande der Uhr zur Zeit jener Beobachtung verglichen, giebt die gesuchte Correction der Uhr gegen Sternzeit. Als Beispiel diene Folgendes.

In einem Orte, dessen Polhöhe $\varphi = 45^\circ\ 24'\ 2'',5$ ist, beobachtete man am 11. Mai 1819 die Zenithdistanz des schönen Fixsterns α Orionis. Nachdem man diese Beobachtung von der Refraction befreit hatte, fand man $z = 73^\circ\ 4'\ 46'',7$. Von diesem Sterne war zu jener Zeit, wie man aus den Sternkatalogen findet, die scheinbare Rectascension $a = 86^\circ\ 20'\ 30'',0$ und die scheinbare Poldistanz $p = 82^\circ\ 38'\ 3'',8$. Mit diesen Gröfsen z, φ, p giebt die vorhergehende Gleichung

den Stundenwinkel	$s =$	73°	$19'$ $46'',6$
Es war aber die Rectascension	$a =$	86	20 30,0
beider Summe		159°	$40'$ $16'',6$
oder in Zeit ausgedrückt		10^h	$38'$ $41'',11$

und dieses ist zugleich die *Sternzeit* jener Beobachtung. Allein die Uhr zeigte im Augenblicke derselben $10^h\ 39'\ 55'',5$, also ging sie, wie man aus dieser Berechnung findet, um $1'\ 14'',39$ zu früh gegen Sternzeit. Am folgenden Tage fand man aus der Beobachtung desselben Sterns, dafs sie um $11^h\ 42'\ 13'',6$ Uhrzeit um $1'\ 16'',4$ gegen Sternzeit zu früh ging, woraus also folgt, dafs sie in $25^h\ 2'\ 18'',1$ ihrer Uhrzeit um $2'',01$ gegen Sternzeit accelerirte. Dadurch ist also Stand und Gang der Uhr gegen die Sternzeit für die Zeit zwischen jenen beiden Beobachtungen vollkommen bekannt und man wird z. B. von dem Augenblicke einer Finsternifs oder einer Sternbedeckung, die man an diesem Tage in Uhrzeit beobachtet hat, sofort auch die wahre Sternzeit derselben angeben können. Wie man dann daraus auch die mittlere und wahre Sonnenzeit dieser Beobachtung finden kann, wird in den Artikeln *Sternzeit* und *Zeitgleichung* gezeigt.

Wenn man in der vorhergehenden Gleichung die Zenithdistanz z gleich 90 Graden setzt, d. h. wenn man das Gestirn im Horizonte annimmt, so erhält man

$$\text{Cos. } s = -\text{ Tang. } \varphi\ \text{ Cotang. } p$$

und das durch diesen Ausdruck erhaltene s giebt den Stundenwinkel des Sterns für den Auf- und Untergang desselben oder es giebt den sogenannten halben *Tagbogen* des Gestirns, welchen man zu der bekannten Zeit seiner Culmination addirt oder davon subtrahirt, um die Zeit des Auf- oder Untergangs des Gestirns zu erhalten[1]. Eigentlich soll bei diesen Bestimmungen, wenn man sie genau erhalten will, auch auf die Refraction, die im Horizonte über $0°\ 30'$ betragen kann, und bei den Planeten auf die Horizontalparallaxe, die z. B. beim Monde $0°\ 57'$ ist, Rücksicht genommen werden. Nennt man r die Horizontalrefraction weniger der Parallaxe des Gestirns und ist überdiefs p die Poldistanz desselben am Mittage des gegebenen Tages und d p die tägliche Aenderung dieser Poldistanz, so hat man für die Poldistanz des Gestirns zur Zeit seines Untergangs $p + \frac{s \cdot dp}{360}$, wofür wir, da s noch unbekannt ist, $p + x$ setzen wollen, und dann soll der halbe Tagbogen s eigentlich aus der Gleichung

---

1 Vergl. *Aufgang der Gestirne.* Bd. I. S. 516.

$$-\text{Sin.}\,r = \text{Cos.}\,s\,\text{Sin.}\,(p+x)\,\text{Cos.}\,\varphi + \text{Cos.}\,(p+x)\,\text{Sin.}\,\varphi$$

gefunden werden. Da dieser Ausdruck zwei unbekannte Grösen s und x enthält, wovon aber die zweite von der ersten abhängt und gegen sie nur klein ist, so kann man zuerst s aus der Gleichung suchen

$$\text{Cos.}\,s = -\frac{(\text{Sin.}\,r + \text{Cos.}\,p\,\text{Sin.}\,\varphi)}{\text{Sin.}\,p\,\text{Cos.}\,\varphi} \quad \ldots \quad (I)$$

Kennt man so den Werth von s, so findet man auch x aus

$$x = \frac{s\,.\,d\,p}{360}$$

und dann erhält man den verbesserten Werth von s oder s' aus der Gleichung

$$\text{Cos.}\,s' = -\frac{(\text{Sin.}\,r + \text{Cos.}\,[p+x]\,\text{Sin.}\,\varphi)}{\text{Sin.}\,(p+x)\,\text{Cos.}\,\varphi} \quad \ldots \quad (II)$$

wo wohl nur selten eine Wiederholung dieser Rechnung nöthig seyn wird. Z. B. am 1. Mai 1829 hat man für die Sonne

$$p = 74^\circ\ 55'\ 45'' \text{ und } d\,p = -\,0^\circ\ 18'\ 2''.$$

Ist nun $\varphi = 51^\circ\ 31'\ 47''$ und $r = 0^\circ\ 33'\ 0''$,

so giebt die Gleichung (I) . . . $s = 110^\circ\ 47'\ 7''$ und daher $x = 5'\ 30''$, also auch $p + x = 75^\circ\ 1'\ 15''$, und damit giebt die Gleichung (II) $s' = 110^\circ 39'\ 8'' = 7^h 22'\ 36''$, so dafs daher die wahre Zeit des Aufgangs der Sonne $4^h 37' 24''$ seyn wird, und ebenso findet man für die wahre Zeit des Untergangs der Sonne an diesem Tage $7^h\ 23'\ 40''$. Hätte man auf die Refraction keine Rücksicht genommen, so würde man diese Zeiten um $0^h\ 3'54''$ gröfser oder kleiner gefunden haben.

Es wird nicht unangemessen seyn, hier ein gewöhnliches und sehr verbreitetes Vorurtheil zu erwähnen, nach welchem man glaubt, dafs die östlicher liegenden Länder den Auf- und Untergang der Sonne zu ganz andern Zeiten sehn, als die westlichen, sowie sie in der That ihre Mittage sehr verschieden haben. So liegt z. B. Wien von Brest beinahe $1^h 23'$ östlich, da der Unterschied der geographischen Länge dieser beiden Städte $20^\circ\ 45'$ beträgt, woraus folgt, dafs man in Wien schon $1^h\ 23'$ Abends in dem Augenblicke zählt, wo es in Brest eben Mittag ist, und so mit jeder andern Stunde des Tags. Dasselbe, glaubt man nun, habe auch in Beziehung auf den Auf- und Untergang der Sonne statt und diese

gehe daher in Wien jeden Tag ebenfalls um $1^h\ 23'$ früher auf, als in Brest. Dieses ist auch im Allgemeinen in der That der Fall, denn wenn in Wien die Sonne aufgeht, so ist es zu Brest noch Nacht und die Bewohner der letzten Stadt werden die Sonne erst $1^h\ 23'$ später sehn. Allein dessenungeachtet wird, wenn z. B. die Sonne am ersten Junius um $4^h\ 5'$ aufgeht, sie auch in Brest an diesem Tage um $4^h\ 5'$ aufgehn, nämlich jeder dieser beiden Orte wird, in seiner Ortszeit, an seiner richtig gehenden Uhr gleich viel zählen, obschon beide Augenblicke in der That um $1^h\ 23'$ von einander verschieden sind, aus der Ursache, weil diese beiden Orte auch ihre Mittage um ebensoviel verschieden zählen oder weil Brest, so wie Wien, Mittag hat oder 12 Uhr in dem Augenblicke zählt, wenn die Sonne eben durch den Meridian einer jeden dieser beiden Städte geht. Obschon also der Auf- und Untergang der Sonne für diese Orte in der That zu sehr verschiedenen Augenblicken statt hat, so ist doch das Zeitintervall, welches zwischen dem Aufgange und dem Mittage oder welches zwischen dem Mittage und dem Untergange der Sonne statt hat, für beide Städte gleich grofs, d. h. der halbe Tagbogen ist für beide Städte nicht verschieden, wenn anders die geographische Breite derselben nicht verschieden ist, wie die obige Gleichung für den halben Tagebogen zeigt, die blofs von der geographischen Breite des Orts und von der Poldistanz des Gestirns, aber keineswegs von der geographischen Länge des Orts abhängt. Dafür variirt dieser halbe Tagebogen mit der geographischen Breite desto stärker. Wien und Drontheim in Schweden sind in Länge nur wenig, in Breite aber $15^o\ 13'$ verschieden, und dieses ist die Ursache, dafs die Sonne, z. B. im Anfange des Mais, in Wien um $7^h\ 13'$ und in Drontheim erst um $8^h\ 13'$, also eine ganze Stunde später, untergeht. In der Mitte des Junius beträgt dieser Unterschied sogar zwei ganze Stunden und für nördlicher gelegene Städte ist er noch viel bedeutender.

Ferner folgt aus der ersten der oben angeführten Gleichungen, dafs zu gleichen Stundenwinkeln östlich und westlich vom Meridiane auch gleiche Zenithdistanzen gehören, wenn anders die Declination des Gestirns unveränderlich ist. Darauf gründet sich die bekannte Methode der sogenannten

correspondirenden Höhen[1], die lange Zeit das beste Mittel zur Bestimmung der Zeit und der Rectascension der Gestirne in der praktischen Astronomie gewesen ist.

Ist endlich der Stundenwinkel eines Gestirns gleich Null, so geht dasselbe eben durch den Meridian und steht zugleich am höchsten über dem Horizonte. Diesen Augenblick benutzen die Astronomen noch heutzutage als den vorzüglichsten, um dadurch sowohl die Höhe oder, bei bereits bekannter Polhöhe, die Declination, als auch die Rectascension der Gestirne am besten zu beobachten. Aber auch dieses setzt voraus, dafs die Poldistanz p des Gestirns constant ist. Wenn aber im Gegentheile dp die tägliche Aenderung dieser Poldistanz ist, so hat die gröfste Höhe des Gestirns nicht mehr im Meridiane selbst, sondern aufser demselben und zwar zu der Zeit statt, wo der Stundenwirkels des Gestirns durch die Gleichung gegeben wird

$$s = \frac{dp}{30\pi} \cdot \frac{\text{Sin. z}}{\text{Sin. p Cos.}\varphi},$$

wo $\pi = 3{,}14159..$ die bekannte Ludolph'sche Zahl ist und die Aenderung dz der Zenithdistanz des Gestirns vom Meridiane bis zu diesem Stundenwinkel

$$dz = \frac{s}{4\pi} \text{ Sin. } 1''. dp.$$

Für den Mond, dessen Declination sich oft sehr stark ändert, können diese Ausdrücke auf mehrere Secunden gehn, daher man bei genauen Beobachtungen dieses Gestirns auf diese Correctionen Rücksicht nehmen mufs.

L.

---

1 S. *Höhe eines Gestirns*, Bd. V. S. 280.

Digitized by Google

Südlicht.

Australschein; *Aurora australis*, *Lumen australe*; Aurore australe ou méridionale, Lumière australe; *Aurora australis*, *Southern-Light.*

Dafs das Südlicht in allen seinen Erscheinungen eine vollständige Aehnlichkeit mit dem Nordlichte darbiete, geht aus den Beobachtungen überzeugend hervor, und man kann hiernach nicht umhin, beide Phänomene dem Wesen nach für identisch zu halten, mit dem Unterschiede, dafs das eine der nördlichen, das andere der südlichen Polarzone zugehört, weswegen man auch beide mit dem gemeinschaftlichen Namen der *Polarlichter* zu bezeichnen pflegt. Weil aber das *Nordlicht* sowohl hinsichtlich des Thatsächlichen als auch der Theorie bereits ausführlich untersucht wurde, so ist für das Südlicht nichts weiter erforderlich, als einige hierauf speciell bezügliche Thatsachen anzugeben.

Auf der südlichen Halbkugel sind die unter höhern Breiten liegenden Zonen fast ganz mit Wasser bedeckt und die wenigen, weiter hinaufragenden Landspitzen sind der grofsen Kälte wegen entweder gar nicht oder blofs von uncultivirten Menschen bewohnt; Europäer hielten sich aus gleichen Gründen nicht leicht dort auf und es dauerte daher lange, bis überhaupt Beobachtungen dieses Meteors bekannt wurden. Der erste kühne Seefahrer, welcher sich tief zwischen die Eisberge der unwirthbaren und gefährlichen südlichen Polarmeere wagte und längere Zeit daselbst verweilte, war Cook, von dem wir daher auch die ersten ausführlichen Beobachtungen der Südlichter erhalten haben. Was die Reisenden bei dieser berühmten Expedition gesehn und über das Südlicht mitgetheilt haben, ist aus ihren Berichten durch Kämtz[1] zusammengestellt, durch Hansteen[2] aus den minder leicht zugänglichen

---

1 Aus Voyage towards the South-Pole and round the world etc. in the Years 1772, 1773, 1774 and 1775. Written by James Cook. Lond. 1779. 4. und George Forsten's Voyage round the world in his Majesty's Ship Resolution. Lond. 1777. 4. Schweigg. Journ. N. R. XVI. S. 212.

2 Astronomical Observations made in the Course of a Voyage

Quellen ergänzt worden und kommt der Hauptsache nach auf Folgendes hinaus. Die bekannt gewordenen Wahrnehmungen des Südlichts gehn nicht über das Jahr 1773 hinaus; in diesem sahen aber die genannten Reisenden der Expedition unter Cook's Commando das erste unbedeutende am 16. Februar, dann aber stärkere am 17ten und den folgenden Tagen dieses Monats. Sie befanden sich damals nach Wales unter 57° 34′ südl. B. und 83° 23′ östl. Länge bei einer westlichen Abweichung der Magnetnadel von 40° 4′. Der südöstliche Himmel war mit dicken Wolken bedeckt, aus denen viele Ströme blafsrothen Lichts aufschossen, nicht so beweglich, als bei den Nordlichtern der Fall zu seyn pflegt, sondern mehr feststehend. Nach G. Forster[1] bestand dasselbe aus langen Säulen eines hellen weifsen Lichts, welche vom östlichen Horizonte aufschossen, fast das Zenith erreichten und sich allmälig über den ganzen südlichen Theil des Himmels verbreiteten; sie waren an ihren obern Enden seitwärts gebogen und unterschieden sich von denen der Nordlichter dadurch, dafs sie fast stets weifs gefärbt waren. Die Reisenden sahen das Südlicht wieder am 19. Febr. desselben Jahres unter 58° 49′ südl. Br. und 91° 2′ östl. Länge, bei 41° 51′ westl. Abweichung der Magnetnadel, wobei die Säulen gefärbter und bewegter waren. Am 20. Febr. unter 58° 55′ südl. Br. und 92° 45′ östl. Länge bei 40° 31′ westl. Abweichung der Magnetnadel schofs dasselbe sehr glänzend am Ostpuncte des Horizontes als einzelne Säule von blafsrothem Lichte empor, die aber das Zenith nicht erreichte, sondern sich südlich hinabbog und in S. O. in 45° Höhe verschwand. Hansteen vermuthet mit Recht, dafs dieses ein unvollständiger Polarlichtbogen war. Am 25. Febr. unter 51° 41′ südl. Br. und 110° 30′ östl. L. bei 20° 52′ westl. Abweichung der Magnetnadel sah Bayley das Südlicht so hell, dafs man grofse Schrift dabei lesen konnte. Es erschien ferner am 6ten März unter 59° 56′ südl. Br. und 119° östl. Länge im Süden und am folgenden Tage unter glei-

---

towards the South-Pole and round the world in the Years 1772 — 1775. By W. Wales and W. Bayley. Lond. 1779. 4. Philos. Mag. and Ann. T. II. p. 342.

1 Vergl. J. R. Forster Bemerkungen über Gegenstände d. phys. Erdbeschreibung auf seiner Reise um d. Welt. Aus d. Engl. mit Anm. von G. Forster. Berl. 1783. 8. S. 103.

cher Breite und 120° 18′ östl. Länge im Norden[1]. Am 15. März unter 58° 52′ südl. Br. uud 142° 24′ östl. Länge bei 1° 42′ westl. Abweichung der Magnetnadel waren die Südlichter sehr hell, schön gefärbt und ausnehmend beweglich, am 18. unter 56° 5′ südl. Br. und 150° 10′ östl. L. bei 14° 44′ östl. Abweichung der Magnetnadel (als demnach die Linie keiner magnetischen Abweichung bereits überschritten war) waren die Südlichter abermals sehr hell, bildeten einen leuchtenden Bogen, dessen Enden nahe genau in Ost und West auf dem Horizonte standen. Hansteen bemerkt hierbei, dafs drei Tage vorher die magnetische Abweichung fast = 0 war, hier also, in der Nähe von van Diemens-Land der magnetische Meridian mit dem astronomischen damals nahe genau zusammenfiel. Der Bogen zeigte sich anfangs nördlich vom Zenith, hob sich aber allmälig, drehte sich gleichsam um sein Centrum und blieb nach dem Durchgange durch das Zenith südlich von diesem stehn; sein Licht war so hell, dafs die Beobachter ihren Schatten auf dem Verdecke sehn konnten (weswegen es auch so hoch, bis über das Zenith, heraufkam). Im folgenden Jahre wurden, wie ausdrücklich bemerkt worden ist, bis zum 15. März keine Südlichter gesehn, obgleich Cook damals bis zum 71° 10′ südl. Br. vordrang. Die Ursache hiervon liegt ohne Zweifel in der gröfsern Tagslänge und dem häufigen trüben Himmel; doch können die Polarlichter auf der südlichen Halbkugel auch seltener seyn, wie Hansteen mit Grunde vermuthet.

Es giebt jedoch allerdings ältere Beobachtungen des Südlichts, als die eben genannten, die aber weit weniger genau, auch nicht so häufig wiederholt sind und daher weniger beachtet wurden. Tresier sah 1712 bei seiner Umschiffung des Cap Horn das Südlicht, welches jedoch wegen der vielen und starken Nebel dort selten gesehn wird[2]. Ebenjene Ursache verhinderte Don Ulloa im Jahre 1745, dieses Phänomen öfter zu sehn, jedoch geschah dieses einigemal, wiewohl nur auf kurze Zeit, während die Nebel durch den Wind zerstreut waren; sie waren sehr hell und glänzend, und er glaubt, sie

---

1 *A northern light.* Ist diese Angabe genau, so beweist sie, dafs der Polarlichtbogen in jener Gegend über das Zenith hinausging.

2 Mém. de l'Acad. 1741. p. 10.

Digitized by Google

müfsten häufig seyn, wenn der Himmel dort heiterer wäre, als meistens der Fall ist[1]. Dagelet sah auf seiner Reise nach Australien das Südlicht am 15. Dec. 1773 unter 48° S. B. und 65° L. bis zu einer Höhe von 30° bis 35° über den Horizont heraufsteigen[2], ja man will ein solches sogar zu Cusco unter 12° S. B. am 20. Aug. 1744 gesehn haben, wie Ignatius de Chiribooa aus Quito an Condamine erzählte[3], jedoch ist dieser Angabe schwerlich genügendes Vertrauen zu schenken. Man sieht sie jedoch häufig auf den Chiloe-Inseln an der Südwestküste von America, weil in dieser Richtung einer der südlichen magnetischen Pole liegt[4]. Die neuesten Reisenden, die ebenso weit und sogar noch weiter, als Cook, südlich vorgedrungen sind, z. B. Bellinghausen und Simonoff, haben diese Meteore sehr häufig wahrgenommen[5].

M.

Sublimation.

Sublimatio; Sublimation; *Sublimation.*

Dieselbe Operation, wie die Destillation[6], nur mit dem Unterschiede, dafs sich der in Dampfform überführte Körper nicht zu einer tropfbaren Flüssigkeit, sondern zu einem festen Körper, dem *Sublimat*, verdichtet. Sie wird entweder in einem Kolben mit Helm, oder in einer Retorte mit Vorlage, oder in 2 auf einander gestülpten Tiegeln vorgenommen.

G.

Sumpf.

Morast, Moor, Bruch; *Palus*; Marais, Marécage; *Moor, March.*

In der physischen Geographie kommen bei der Untersu-

1 Encyclop. méth. T. I. p. 351.
2 Journ. des Savans 1774. p. 878.
3 Hist. de l'Acad. 1747. p. 17.
4 J. Ign. Molina Vers. einer Naturgeschichte von Chili. Aus d. Ital. Leipz. 1786. S. 29. Saggio sopra la storia naturale del Chili. 1782. L. I.
5 Edinb. Journ. of Sc. N. II. p. 347.
6 S. *Destillation.* Bd. II. S. 517.

Digitized by Google

chung der Erdoberfläche auch die Sümpfe in Betrachtung, wobei nicht sowohl eine Beschreibung derselben, wie und wo sie sich in den verschiedenen Ländern befinden, als vielmehr ihre physische Beschaffenheit und die Ursachen ihrer Entstehung, beides durch die Einwirkung verschiedener Umstände bedingt, Berücksichtigung verdienen.

Im Allgemeinen entstehn Sümpfe dadurch, dafs Wasser aus Niederungen nicht abfliefsen kann, sich daher ansammelt, aber wegen des flachern Bodens keinen See bildet, sondern eine Menge über die Oberfläche hervorragende Wasserpflanzen nährt oder eine obenauf schwimmende, durch zahllose in einander gefilzte Pflanzenwurzeln zusammengehaltene Erdkruste trägt, auf welcher Kräuter, Gesträuche und selbst Bäume wachsen, je nachdem sie dicker oder dünner ist. Die Moore sind daher in der Regel durch zahllose kleinere und gröfsere Lachen unterbrochen, die gröfsern Seen der Ebenen sind meistens von Mooren umgeben, manche Flüsse von geringem Falle haben weit ausgebreitete sumpfige Ufer, wie vor allen der Manetsch zwischen dem kaspischen und schwarzen Meere, und oft ist es zweifelhaft, ob eine stagnirende Wasseransammlung ein See oder ein Sumpf, ein Morast zu nennen sey. Die auf dem Wasser schwimmende Kruste ist dicker oder dünner und trägt in diesem Verhältnisse gröfsere und schwere oder niedrigere und leichte Gewächse, nicht selten hauptsächlich Gras, welches zwar nicht so zart und nährend ist, als das der trocknern Wiesen, dennoch aber füglich zum Weiden des Viehes dienen kann. Die Tiefe des Wassers, worauf die Erdkruste ruht und zuweilen ganz eigentlich schwimmt, sich aber mitunter zugleich durch ihr Zusammenhängen bleibend erhält, ist von gröfserer und geringerer, zuweilen sehr bedeutender Tiefe, so dafs Menschen und Thiere, die durch die Kruste brechen, darin versinken und dafs oft selbst mit langen Stangen kein Grund zu erreichen ist. Die gröfsere Nässe derselben wechselt mit den Jahreszeiten und steht unter dem Einflusse nasser und trockner Jahre; manche trocknen sogar bei anhaltender Dürre fast gänzlich aus. Der untere Theil der Kruste, zuweilen auch eine beträchtliche Lage des unterhalb befindlichen Moorbodens, giebt getrocknet den bekannten Torf, welcher hier gelegentlich mit erwähnt werden kann. Diejenigen Sümpfe, die keinen Torf geben, sind nur ausnahmsweise zu Viehweiden tauglich und

bestehn meistens blofs aus stagnirendem Wasser, über welches Schilfrohr und sonstige Wasserpflanzen, oft bis zur undurchdringlichen Dichtigkeit angehäuft, hervorragen, und wenn diese im Winter absterben, so verwandelt sich der Sumpf in einen See von unbeträchtlicher Tiefe.

Gröfstentheils gehören die Sümpfe den nördlichen Gegenden der Erde an, weil dort die Verdampfung des stagnirenden Wassers geringer ist, jedoch findet man beträchtliche Sümpfe auch unter niedrigern Breiten. Unter die von grofser Ausdehnung gehört das Torfmoor zwischen Eupen und Malmedy. Dieses grenzt mit der einen Seite an einen grofsen Wald und hat eine Höhe von 2800 Fufs über der Meeresfläche. Das Wasser aus demselben sammelt sich in verschiedene kleine Seen, aus denen Bäche nördlich in die Roer, östlich in die Ahr, südlich in die Kill und westlich in die Verdre und Warge fliefsen. Die Gegend ist in einem solchen Grade öde, dafs man auf der 6 Meilen langen Strecke zwischen Eupen und Malmedy nur ein einziges Haus findet[1]. Holland hat zahllose sumpfige Gegenden und Torfmoore, weil der Boden desselben an vielen Stellen tiefer als der Spiegel des Meeres liegt. Nach einer sehr wahrscheinlichen Vermuthung von DE LÜC[2] ist die obere Erdkruste bei einem grofsen Theile der Niederlande durch den Druck und das allmälige Verdunsten des Wassers herabgesunken und wird gegenwärtig nur durch zahllose kostbare Dämme gegen Ueberschwemmungen geschützt, weswegen das eindringende Wasser (die *Binnenwater*) durch künstliche Mittel weggeschafft werden mufs. Das *Teufelsmoor* bei Bremen, das *Burtanger-Moor* an der Grenze des Oldenburgischen, grofse Strecken im Lüneburgischen, im Holsteinischen und in Pommern gehören zu den grofsen Niederungen, welche, von den niederländischen anfangend, sich an den Küsten der Nord- und Ostsee hinziehn. Die gröfstentheils dürftigen Bewohner jener Gegenden pflegen im Mai oder Juni die zum Fruchttragen bestimmten Strecken zuerst mit einem aufgeworfenen Walle zu umgeben, damit das Feuer sich nicht über die bestimmten Grenzen hinaus verbreite, dann die obere Rinde mit der Hacke aufzulockern und an der Windseite an-

1 Hesperus oder encyklopädische Zeitschrift. Th. XXVII. S. 158.
2 Lettres CXXIX.

zuzünden, damit das Feuer die Wurzelfasern der Pflanzen, namentlich der dort unaufhaltbar wuchernden gemeinen Heide (*erica vulgaris*), zerstöre, worauf in den noch warmen Boden Buchweizen (sogenanntes Heidekorn) gesäet wird, welcher dort besser als in andern fruchtbaren Gegenden geräth, wenn der Regen zu gehöriger Zeit und in angemessener Menge nicht fehlt. Der hierbei aufsteigende Rauch kommt oft in andern benachbarten, aber auch über 30 Meilen entfernten Gegenden als *Höhrauch* zum Vorschein[1].

In Scandinavien giebt es neben vielen Seen auch zahlreiche Moore, deren einige, namentlich in Norwegen, an den Bergen hin liegen und für die Reisenden schwer zu passiren sind. Bei Lessö hat man fast eine Meile lang einen hölzernen Damm hinüber geführt, aber wenn ein Pferd fehltritt und ausgleitet, so versinkt es fast augenblicklich. Einige Moore, z. B. die bei Trelleborg und Tornbyholm, wurden ehemals vom Seewasser überflossen, erzeugen aber jetzt nach dem Sinken des Meeresspiegels in jenen Gegenden Torf[2]. Die grofsen Seen Sibiriens haben in ihrer Umgebung bedeutend ausgedehnte Sümpfe und aufserdem findet man deren in jenen Gegenden ebenso zahlreiche als grofse. Einige der nordamericanischen Seen, namentlich der Erie, bestehn zum Theil aus mehrere Quadratmeilen enthaltenden Mooren; an der Donau, unfern Ingolstadt, lag ein vier Quadratmeilen grofses Moor, welches die Gegend ungesund machte, aber zum Theil unter Carl Theodor ausgetrocknet wurde[3]. Früher glich es in nassen Jahren einem See und war mit Gesträuch, Moosen und Sumpfgrase bewachsen, welche dem hineingetriebenen Vieh nur schlechte Nahrung gaben, jetzt aber werden die culturfähigen Districte bewohnt; auch hat man noch neuerdings Theile desselben urbar gemacht. Ungarn hat viele und manche grofse Sümpfe, namentlich den Morast Sövenhäz bei Raab, eine mehrere Quadratmeilen haltende, über Wasser und Modergrund schwebende, aber gutes Gras erzeugende Erdkruste, worauf das Vieh weidet. In der persischen Provinz Chorassem

---

1 Vergl. *Nebel*, *trockner*. Bd. VII. S. 50.

2 Neue schwed. Abhandl. 1781. Th. II. S. 255.

3 Franz v. Paula Schrank Briefe über das Donau-Moor. Mannh. 1795.

Digitized by Google

ist ein weit ausgedehntes Moor, in welchem einst ein Theil von dem Heere des THAMAS-KULI-KHAN plötzlich versank und nicht wieder zum Vorschein kam[1], unter die merkwürdigsten gehört aber der erst neuerdings bekannt gewordene grofse Sumpf im Innern von Neuholland, den der Flufs Macquarie bildet[2].

Die schon von alten Zeiten her am meisten bekannten und berühmten Sümpfe sind die *Pontinischen* im ehemaligen Latium, südwestlich von Rom, an der Grenze vom Neapolitanischen, die man oft erwähnt findet, von denen aber PRONY[3] nach einer zum Behuf des Austrocknens vorgenommenen genauen Untersuchung eine vollständige Beschreibung gegeben hat. Sie sind gegen 42000 Meter lang, indem sie sich von Cisterna bis Terracina erstrecken, aber viel schmäler und von wechselnder Breite. Ihr Bassin ist begrenzt in NW. durch Kalkberge, den Mont Lepine, in SW. durch eine Reihe Dünen und aufgeschwemmte Hügel, hinter denen sich abermals eine Reihe von Sümpfen befindet, die noch fortdauerd gebildet und vom Meere durch eine zweite Reihe von Dünen und Sandbänken getrennt werden. Der Berg Circeo, 525 Meter hoch, ist ein Hauptpunct am Ufer, welcher den Wellen Widerstand leistet. Die ganze Fläche derselben begreift 130261,07 Hektaren. Näher bezeichnet enthalten sie im eigentlichen Profile an der rechten und linken Seite der Via appia in französischen Aren

Kornland	124151	227273
Maisland	28611	223609
Weidegrund	583562	227982
Morast	81715	127031
Ursprungs-Morast	140267	111418
Total	938306	926313
davon sind in Erb-Pacht gegeben		1884619
Wege, Canäle u. s. w.		77677
Verpachtete Raine		1070629
	Total	3032925 franz. Ares.

1 BREISLAK Instit. Geol. T. II. p. 388, D'AUBUISSON Traité de Géognos. T. II. p. 492.

2 Two Expeditions into the Interior of southern Australia cet. By CHARLES STUNT. Lond. 1833. II T. 8.

3 Des Marais Pontins par M. de Prony. Paris, de l'Imprimerie Roy. 1818. 4.

Historischen Nachrichten zufolge wohnten anfangs Volsker in dieser Gegend, die aber das Wasser abzuleiten verstanden und den Boden fruchtbar gemacht hatten, wenn anders dort keine spätern Senkungen statt gefunden haben oder durch Anschwemmungen am Ufer dem Wasser der Abfluſs mehr versperrt worden ist. Wie weit die Versumpfung schon überhand genommen hatte, als 422 nach der Erbauung Roms die *Via Appia* durch Appius Claudius Coecus angelegt wurde, ist ungewiſs, aber der Morast muſs sehr bedeutend gewesen seyn, als Cornelius Cethegus 288 Jahre später die Austrocknung desselben unternahm, die durch den Tod Caesar's gehindert wurde. Augustus unternahm dieses abermals und es ist wahrscheinlich, daſs er zugleich einen schiffbaren Canal in der ganzen Länge der Sümpfe neben der Appischen Straſse angelegt oder wieder hergestellt habe. Von ihm rührt noch ein Canal her, welcher am Fuſse des Berges Circeo vorbei an der Seite von Terracina nach dem Meere hinläuft. Die Appische Straſse wurde unter Nerva und Trajan wieder hergestellt, nachdem sie während der bürgerlichen Kriege sehr verfallen war; Austrocknungsversuche machten zuerst wieder der Patricier Decius unter Theodorich dem Groſsen mit sehr günstigem Erfolge. Diese Anstalten kamen aber wieder in Verfall, und erst später suchten einige Päpste den ungesunden Einfluſs jener Gegenden durch Entwässerung zu beseitigen. Leo X. lieſs im Anfange des 16. Jahrhunderts unter der Leitung des Julius von Medicis durch den Ingenieur Giovanni Scotti einen Canal, den sogenannten *Portatore di Badino*, anlegen, wodurch das Sumpfwasser einen Abzug ins Meer erhielt. Sixtus V. brachte im Jahr 1588 den Canal *Sisto* durch Ascanio Fenizi zu Stande, und Pius VI. legte von 1777 bis 1781 unter der Leitung Rapini's einige bedeutende Werke an, vorzüglich einen Canal, *linea morta* genannt.

Die Sümpfe werden hauptsächlich durch die Flüsse *Amasenus* und *Ufens* erzeugt, die keinen gehörigen Abfluſs haben und bei ihren Ueberschwemmungen die Gegend unter Wasser setzen, welches nachher stagnirt. Es entstehn in den zahllosen Lachen Insecten und Wasserthiere in unermeſslicher Menge, die insbesondere in der heiſsen Jahreszeit vermodern und nicht bloſs die Gegend selbst verpesten, sondern auch

zed by Google

ungesunde Miasmen erzeugen, die unter dem Namen der *aria cattiva* des zwischenliegenden Waldes von Simonetta ungeachtet auf 40 Meilen Entfernung bis nach Rom fortgeführt werden. Die sumpfigen Gegenden selbst werden von wenigen armen, durch Krankheit und Blässe ausgezeichneten Fischerfamilien bewohnt, allein die Landleute kommen zur erforderlichen Zeit von den benachbarten Gebirgen in diese Ebenen herab, treiben ihre Heerden hinein und übernehmen gegen einen gewissen Lohn das Bestellen und Ernten der Felder.

Von der oft beträchtlich dicken Erdkruste, welche auf trübem, schmuzigem Wasser schwimmend den unterscheidenden Charakter der Moore und Brüche giebt, werden zuweilen beträchtliche Strecken losgerissen, die dann auf den angrenzenden Seen schwimmen, vom Winde hin und her getrieben sich bald an der einen, bald an einer andern Seite anlegen und kleine bewegliche Inseln bilden; einige derselben verändern sogar ihr specifisches Gewicht so, dafs sie zuweilen niedersinken und später wieder emporkommen, mit einem entweder periodischen oder regellosen Wechsel. Schon bei den alten Schriftstellern finden sich Nachrichten von solchen *schwimmenden Inseln*, die jedoch wahrscheinlich von anderer Beschaffenheit waren. Am bekanntesten ist, was Herodot von einer solchen bei Butus in Unterägypten erzählt, welche *Chemnis* genannt in einem breiten und tiefen See schwimmen, mit einem Tempel des Apollo und drei Altären versehn, bebauet und mit vielen wilden und fruchttragenden Bäumen bepflanzt seyn sollte. Dafs blofser Moorgrund solche Lasten nicht tragen könne, ist wohl gewifs und man glaubt daher, dafs diese Insel, die Wahrheit der Erzählung vorausgesetzt, aus aufgehäuftem und auf irgend eine Weise verbundenem Bimstein bestanden habe. Von einer ähnlichen in Lydien, auf welcher im mithridatischen Kriege sich oft die Menschen retteten, erzählt Seneca[1] und Plinius[2], desgleichen von verschiedenen andern, mit Schilf und Gesträuch bewachsenen, die unstät und selbst von wechselnder Gestalt

---

1 Nat. Quaest. L. III. c. 25.
2 Hist. Nat. Lib. II. Cap. 95.

auf mehrern Seen Italiens und anderer Länder schwimmen sollten [1].

Obleich man die hier genannten jetzt nicht mehr aufzufinden vermag, so ist doch die Existenz solcher kleiner schwimmenden Inseln durch spätere Erfahrungen völlig begründet, jedoch scheint die Industrie jetzt so weit vorgerückt zu seyn, dafs die Anwohner der Seen die ihnen auf diese Weise zugeführten Erweiterungen ihres Territoriums sofort mit ihrem Besitzthume verbinden, weswegen ich nicht mit Sicherheit weifs, ob noch gegenwärtig solche existiren. Unter andern wurde einst ein Theil einer morastigen Gegend, *Holway-Ness* in Schottland, nebst den darauf stehenden Häusern, Bäumen und Früchten nach einem starken Regen plötzlich aufgehoben und eine beträchtliche Strecke weit fortgeführt. In der Grafschaft *Galway* in Irland wurde 1745 ein grofser Theil des dortigen Torfmoores nach einem heftigen Sturme mit starkem Regen aufgehoben und über einen 300 Morgen betragenden Wiesengrund getrieben. Eine bedeutend ausgedehnte Insel, deren Boden durch Wurzelfasern zusammengehalten wurde und die mit Binsen und Reisig stark bewachsen war, trieb lange Zeit auf dem Gerdauer See in Ostpreufsen umher. Ihre Ausdehnung war anfangs so grofs, dafs hundert Stück Hornvieh darauf weiden konnten, bis sie allmälig verkleinert wurde und jetzt ganz verschwunden zu seyn scheint. Im Jahre 1510 wird ihrer zuerst gedacht, 1707 war sie in drei Stücke getheilt, auf deren gröfstem noch etwa 30 Stück Vieh weiden konnten; wo sie aber antrieb, wurde sie von den Anwohnern festgebunden, dadurch allmälig zerstückelt und scheint jetzt nicht mehr vorhanden zu seyn. Im See Icker im Osnabrückischen soll eine schwimmende Insel mit Erlen von 15 Fufs Höhe gewesen seyn und bei Rovigo, zwischen Etsch und Po, sollen sich deren einige, vom Winde umhergetriebene, befunden haben, deren eine auf einen Flächeninhalt von 100 Morgen geschätzt wird [2].

---

1 Die ältern Nachrichten findet man gesammelt in Exercit. academ. de Insulis natantibus cet. scripsit. G. Ch. Musz. Altorf 1711. 4.

2 Silvestri Italienische Biblioth. Th. II. S. 221.

Eine sehr auffallende Erscheinung hat der See *Ralängen* in Schweden dargeboten, nämlich eine Insel von 280 Fufs Länge und 220 F. Breite, die sich meistens 8 bis 10 F. unter dem Wasser befand, indem sie ohne Zweifel auf dem Boden ruhte. Zuweilen kam sie jedoch empor und blieb einige Zeit obenauf schwimmend, z. B. 1696 im Anfange Octobers 14 Tage lang, im August 1712 volle sechs Wochen, im Jahr 1726 vom 7. bis 29. September, abermals 1743 vom 5. Sept. bis 9. October und wiederum 1746 vom Ende Augusts an 6 Wochen lang. Man fand auf ihr mehrere Baumstämme und die Erdrinde wurde so hart, dafs man darauf gehn konnte. Im See *Nimmern* in Ostgothland war eine Insel, 150 Fufs lang und 50 F. breit, welche 1749 heraufkam und 12 Wochen lang umherschwamm. Sie hatte gleichfalls viele Baumstämme und trug einige sehr schwere Steine. Eine schwimmende Insel im See *Derwent* in England hat ungefähr 6 F. Dicke, befindet sich 150 Yards vom Ufer, hat oft eine Ausdehnung von einem ganzen Morgen, zuweilen nur von wenigen Ellen, erhebt sich zuweilen mehrmals in einem Sommer, meistens bei warmer und trockner Witterung; zuweilen kommt sie binnen 6 bis 7 Jahren gar nicht empor, bleibt beim Emporkommen zum Theil unter dem Wasser oder erhebt sich bis zwei Fufs über dasselbe. Die Ursache ist ohne Zweifel eine durch den Einflufs der Wärme vermehrte Entwickelung einer grofsen Menge von Kohlenwasserstoffgas aus den vermodernden Wurzelfasern, welches das specifische Gewicht der Masse vermindert und diese aufsteigen macht[1].

Die unfruchtbaren moorigen und sumpfigen Gegenden geben zweierlei Arten von Brennmaterial. Fast ohne Ausnahme sind sie da, wo das Wasser nicht bis zur Oberfläche reicht, mit stark wuchernden Moosen und Heidearten, auch kurzen Gesträuchen bewachsen, deren Wurzeln sich so dicht in einander filzen, dafs daraus eine zusammenhaltende Kruste gebildet wird. Es ist bereits oben erwähnt worden, dafs man diese aufzuhacken, die Wurzeln und sonstigen holzigen Theile durch Feuer zu zerstören und dann in den lockern und durch die erhaltene Asche gedüngten Boden Moorweizen oder Heide-

1 Manchester Memoirs 1819. T. III. Mem. V. Vergl. Otto Hydrographie S. 281. Kant phys. Geogr. Bd. II. Abth. I. S. 468.

Digitized by Google

kraut (Buchweizen) zu säen pflegt. Auf den minder fruchtbaren Strecken pflegen die Bewohner mit einer geeigneten Hacke die obere Kruste, etwa zwei Zoll dick, in ungefähr 6 Zoll breiten und 8 Zoll langen vierkantigen Platten abzuhauen und die geeigneten von diesen sogenannten *Plaggen* zum Unterstreuen als Mittel zur Vermehrung des Düngers, andere zum Brennen zu benutzen. Auf den nässern Strecken erzeugt sich *Torf*, welcher in mineralogischer Hinsicht ein Gebilde der neuern Zeit, an einigen Stellen zwar sehr alt, an andern aber sehr neuen Ursprungs ist und einmal weggenommen sich in einer oft sehr kurzen, zuweilen etwas längern Reihe von Jahren wieder erzeugt.

Der *Torf* besteht aus vegetabilischen Substanzen, Wurzeln, Fasern, Blättern, Moosen, manchen Baum- und Gesträuch-Arten, den Erzeugnissen sumpfiger Gegenden, die sich braun und braunschwarz färben, mit Erdpech mehr oder weniger durchdrungen sind, ihre frühere Gestalt gröfstentheils beibehalten, mit einem steinkohlenartigen Geruche verbrennen und den lockern Braunkohlen in ihrem Verhalten sehr nahe kommen. Einige haben geglaubt, unter den Pflanzen befänden sich auch Seepflanzen, allein nach v. Chamisso's[1] Untersuchungen des Torfes vom *Limuner Moore* und auch der Arten, die bei Colberg vorkommen, ergiebt sich, dafs durchaus keine solche darin vorhanden sind, denn es findet sich selbst in dem letztern keine Spur davon, obgleich der Torf bis 11 Fufs unter den Spiegel des Meeres herabreicht. Der Torf geht vom lockersten durch viele Abstufungen zum festesten über, man kann aber deutlich dreierlei Arten unterscheiden. Zuerst der lockere Torf, in den Mooren obenauf liegend, eine braungelbe Masse in einander gefilzter Wurzelfasern, zwar leicht von Gewicht, aber doch bedeutend haltbar; zweitens fester Torf, braun, ins Schwärzliche übergehend, mit minder leicht kenntlichen Fasern, und drittens der dichte, schwarze Torf, dunkel schwarzbraun, fast schwarz, fest, den Braunkohlen ähnlich, gleicht mehr einer von Erdharz durchdrungenen erdigen Masse, die oft selbst eine gewisse politurähnliche Glätte annimmt.

Der Torf kommt vermuthlich unter allen Himmelsstrichen

---

1 Karsten Archiv für Bergbau und Hüttenwesen. Bd. XI. S. 1.

Digitized by Google

vor, wo Pflanzen wachsen, in der nördlichen Hälfte der gemäfsigten Zone findet er sich jedoch am häufigsten, ist über sehr ungleich grofse Strecken ausgebreitet und bildet Lager von einem bis dreifsig Fufs Mächtigkeit. Unter den Torfmooren sind in Frankreich die an den Ufern der Somme die bekanntesten. Die Dicke des Torflagers beträgt unweit Amiens etwa 6 bis 10 Fufs, nimmt nach dem Thale hin zu und erreicht zwei franz. Meilen von Abbeville das Maximum von 30 Fufs. Hier liegen alle drei Arten Torf über einander, in der untersten Lage aber findet sich eine Menge grofser Baumstämme. Die Torfmoore von Essonne liegen etwa 10 Lieues von Paris, haben eine Ausdehnung von 5000 Hektaren und eine Mächtigkeit von zwei bis drei Metern. Unter die gröfsten gehört das Teufelsmoor bei Bremen, 20 französ. Meilen lang und 4 bis 5 breit, in der Mitte bis 30 Fufs tief, ruht auf Sand und man beobachtet das Wiederwachsen des Torfes hauptsächlich in nassen Jahren. Die ganze Gegend ist sumpfig, an verschiednen Stellen aber durch Canäle mehr trocken gelegt, wo dann Korn und Hülsenfrüchte gebaut werden. In Holland giebt es der Torfmoore eine grofse Menge, ebenso bei Calais, das grofse zwischen Eupen und Malmedy ist schon erwähnt, und überhaupt findet der Torf sich in unermefslicher Menge in den Küstendistricten der Nord- und Ost-See. In Grofsbritannien ist er nicht selten, in Norwegen, Schweden und Finnland sehr häufig, auch findet er sich in beträchtlicher Höhe, z. B. unter der Kuppe des Brockens.

Eine bedeutende Menge Holz und zwar nicht blofs Gesträuch, sondern oft grofse und starke Baumstämme der verschiedensten Arten findet man häufig in den untersten Torflagern. In *Kincardine* ist ein Torfmoor von 3600 Hektaren Flächeninhalt, mitunter 14 Fufs mächtig, auf Thonboden liegend. An einigen Stellen, wo der Torf weggestochen wurde, hat man auf dem Boden eine unermefsliche Menge Bäume gefunden, die über ihren Wurzeln umgestürzt waren, indem letztere noch in der Erde steckten. Es befanden sich darunter kenntliche Buchen, Birken, Tannen und Eichen, letztere bis 50 Fufs lang und 3 Fufs im Durchmesser haltend, sämmtlich fest und schwarz, ja sogar einige mit noch sichtbaren Hieben der Aexte, weswegen man vermuthet, es seyen diese die Ueberbleibsel eines von den Römern gemachten Verhacks.

In der Regel scheinen die Bäume, die man in den Torfmooren findet, an Ort und Stelle gewachsen zu seyn; es sind dieses vorzüglich Nadelhölzer, zuweilen 100 Fufs lang[1], so dafs man auf den Untergang von Urwäldern schliefsen mufs, und Eichen hauptsächlich in Niederungen. Als das Torfmoor bei Hartfield in York ausgetrocknet wurde, fand man Bäume von 120 Fufs Länge und 12 Fufs im Umfange, schwarz wie Ebenholz; auch läfst sich dasselbe verarbeiten und liegt etwa in der Mitte zwischen Eichen- und Ebenholz. Sonstige Baumarten, die man antrifft, sind Erlen, Forlen, Birken u. s. w., die letztern meistens weniger gut erhalten. Zugleich findet man Saamenkörner, Rinden, Wurzelfasern und Schilf, z. B. bei Colberg Schilf (*arundo phragmites*), Saamenkörner von Bitterklee (*menyanthes trifol.*), aber keine Frucht von Tannenwedel (*hippuris vulgaris*), die in andern Torflagern sehr häufig vorkommen[2]. Knochen von Ochsen, Hörner von Ziegen und Auerochsen sind namentlich in Irland gefunden worden, nebst Flufsmuscheln, woraus der neuere Ursprung des Torfs unverkennbar hervorgeht. In den Torfmooren der Somme hat man versunkene Kähne gefunden, in Artois eine römische Strafse, auch eine Menge römische und englische Hacken und Werkzeuge. Eine ehemalige Strafse entdeckte man in den Torfmooren der Maafs und zu Kincardine einen hölzernen Damm.

Die Beschaffenheit und Entstehungsart des Torfs sind vielfach untersucht worden, wovon ich jedoch nur die Hauptsachen mitzutheilen für angemessen halte. Aeltere Untersuchungen sind von Degner[3], Abilgaard[4], Hagen[5], Schulze[6], Fischerström[7] und Findorf[8], neuere sind von van Marum[9], welcher in einem ausgegrabenen Bassin Torf entstehn

---

1 Biblioth. Brit. T. IX. p. 162.

2 V. Chamisso a. a. O. S. 8.

3 Dissert. de Turfis. Traj. ad Rh. 1729. 8.

4 Abhandl. vom Torfe. A. d. Dän. Kopenh. 1765. 8.

5 Phys. chemische Betrachtungen über den Torf in Preufsen. Königsb. 1764. 8.

6 Betrachtung d. brennbaren Mineralien in Sachsen. Dresd. 1771. 8.

7 Neue Schwed. Abh. 1781. Bd. II. S. 255. v. Crell's chemische Ann. 1784. Bd. I. S. 457.

8 Beckmann's Beiträge. Bd. IV.

9 Aus den Annal. du Mus. d'Hist. natur. T. II. p. 91. in Voigt's Magaz. Bd. VI. S. 342. G. XIV. 507.

sah und aus den beobachteten Umständen schlofs, dafs er fast allein aus der *conferva rivularis* (*fugacissima* Roth.) gebildet werde, was aber von andern[1] mit Grunde bezweifelt wird, da sich im Torf noch eine Menge anderweitiger Pflanzenfasern findet. Sehr ausführlich und nach genauen Beobachtungen handelt Dau[2] über die Beschaffenheit und Entstehungsart desselben; auch hat Keferstein[3] gehaltreiche Untersuchungen darüber angestellt; seine Zusammensetzung aber haben neuerdings Dumenil[4], Oberlin und Buchner[5] untersucht. Am besten lernt man das, was darüber wissenswürdig ist, aus der bereits erwähnten Abhandlung von v. Chamisso kennen, nach welchem es auch schwimmenden Torf giebt, der aber nach seiner Ansicht keineswegs auf dem Grunde des Meeres entstanden seyn soll. Hiermit stimmt Renner[6] überein, nach dessen Ansicht die Enden der Torfmoore an den Küsten durch Abschüssigkeit des Bodens allmälig tiefer hinabgedrückt werden. Im Aisne-Departement giebt es einen eignen pyrituösen Torf, welchen Poiret[7] untersucht hat.

M.

Sympiezometer.

Dieses Werkzeug, von dem nachdenkenden Mechaniker Adie zu Edinburg erfunden, ist wohl unstreitig mit gröfserm Beifall aufgenommen, als es verdient, und seit seiner Bekanntwerdung vielfach neben dem Barometer oder als Stellvertreter desselben gebraucht worden. Dasselbe ist dem Wesen nach nichts anders, als ein *Manometer*, wie solches bereits früher von Hooke, welchen Adie allein als den frühern Erfinder nennt, und vielen andern unter dem Namen eines *Meerbaro-*

---

1 G. XVIII. 236.

2 Ueber die Natur, Entstehung und Wiedererzeugung des Torfs. Leipz. 1728. 8.

3 Deutschland geologisch-geognostisch dargestellt. Bd. IV. S. 1.

4 Trommsdorff N. Journ. d. Pharmazie.

5 Buchner's Repertorium. Bd. XLVI. S. 185, wo man die Literatur findet.

6 Voigt's Magaz. Bd. X. S. 327.

7 Journ. de Phys. T. VIII. p. 292. T. X. p. 1. T. XII. p. 189. Daraus in G. XIV. 469.

meters zum Gebrauche auf Schiffen empfohlen wurde[1]. War indefs die Idee im Ganzen nicht neu, so mufs man doch gestehn, dafs Adie das Instrument mit scharfsinniger Berücksichtigung aller bedingenden Umstände ausgeführt hat, und aufserdem war das von ihm selbst für das physikalische Cabinet zu Edinburg verfertigte Exemplar, welches ich dort sah, von so ausnehmender Schönheit, dafs hieraus sicher ein grofser Theil des Beifalls erwuchs, welchen der Apparat gefunden hat.

Das Sympiezometer[2] beruht, wie das Manometer, auf dem Principe, dafs eine jede permanent elastische Flüssigkeit bei unverändert bleibender Temperatur ihr Volumen beibehält, so lange sie keinem gröfsern oder geringern Drucke ausgesetzt wird, dafs aber dieses Volumen dem darauf wirkenden Drucke umgekehrt proportional verändert wird. Läfst man daher auf ein gegebenes mefsbares Volumen irgend einer Gasart den Druck der Atmosphäre wirken, so wird sich die Gröfse desselben dem Drucke der letztern proportional ändern, mithin die Veränderung dieses Drucks auf gleiche Weise, als beim Barometer, durch die Veränderung jenes Volumens mefsbar seyn, ein stetes Gleichbleiben der Temperatur vorausgesetzt. Das eingeschlossene Luftvolumen mufs durch irgend eine tropfbare Flüssigkeit abgesperrt seyn, weil eine feste Hülle geringen Veränderungen des Drucks Widerstand leisten würde, und wenn dann die Flüssigkeit durch Absorption oder chemische Einwirkung das Volumen der Gasart vermindert oder durch Entbindung irgend einer expansibeln Flüssigkeit vermehrt, so erwächst hieraus eine neue Quelle von Irrthümern, die nicht wohl zu corrigiren sind. Adie[3] wählte, um diesem zu begegnen, Hydrogengas als nach seinen Versuchen am besten geeignet und Mandelöl mit Ochsenzungen-Wurzel gefärbt zum Absperren.

Hiernach besteht also das Sympiezometer aus einer Glasröhre A B C von ungefähr 18 Z. Länge und 0,7 Lin. Weite, oben bei A mit einem 2 Z. langen und 0,5 Z. weiten Gefäfse und unten bei C mit einem ähnlichen, etwas gröfsern. Bei der Verfertigung behält das obere Gefäfs eine enge, offene

Fig. 410.

---

1 Vergl. Art. *Barometer*. Bd. I. S. 794.

2 Engl. *Sympiesometer*, von *συμπιέζειν*, zusammendrücken.

3 Edinb. Phil. Journ. N. I. p. 54.

Verbindungsröhre, welche mit einem biegsamen Rohre verbunden wird, um das Ende des letztern unter den Behälter mit getrocknetem Wasserstoffgas zu bringen. Ist dann der ganze Apparat mit Quecksilber gefüllt, so sinkt dieses durch sein Gewicht herab und es tritt so viel Gas ein, als verlangt wird, worauf man die Spitze an der Lampe zuschmelzt. Hierauf wird in das untere Gefäfs nach dem Ausgiefsen des Quecksilbers die erforderliche Menge des Oels gegossen, der Apparat horizontal gehalten und so weit erwärmt, dafs alles Quecksilber aus der Röhre in das untere Gefäfs fliefst, beim Erkalten aber das Oel an dessen Stelle tritt, worauf man den Rest des Quecksilbers ausgiefst und den Apparat fertig erhält. Die Scale wird demnächst empirisch bestimmt, indem man den Apparat zugleich mit dem Thermometer und einem Barometer in ein luftdichtes Gefäfs bringt, welches mit einer zum Exantliren und Comprimiren dienenden Pumpe versehn ist, die Theile der Scale, die den Zollen des Barometers correspondiren, bezeichnet und die Zwischenräume zwischen diesen in hundert Theile theilt, so dafs man also Hundertstel eines Zolls messen kann. Um den Einfluſs der Temperatur zu corrigiren, ist die Hauptscale oder die barometrische Scale m n auf einer zweiten o p verschiebbar, welche letztere mit der Scale des gleichfalls zum Apparate gehörigen Thermometers correspondirt. Adie giebt zwar nicht näher an, wie diese zweite Scale graduirt wird, allein die Aufgabe ist leicht zu lösen. Bei der bekannten Ausdehnung der Gasarten, wonach das Volumen $= V$ bei einer gegebenen Temperatur $= t$ in das Volumen $= V'$ bei der Temperatur $= t'$ nach Graden der hunderttheiligen Scale $V' = V\frac{1+0{,}00375\,t'}{1+0{,}00375\,t}$ wird, könnte die Ausdehnung berechnet werden; allein da es schwierig ist, den Inhalt der obern Kugel und der Röhre genau zu messen, und die barometrische Scale m n empirisch bestimmt wird, so ist wohl nicht zu bezweifeln, dafs das nämliche Verfahren auch bei der thermometrischen Scale o p zur Anwendung kommt. Man darf also nur das Instrument eine gewisse Zeit, während deren das Barometer sich nicht ändert, einer ungleichen Temperatur aussetzen, den Stand der Flüssigkeit bei beiden Temperaturen bezeichnen und den Zwischenraum in die der Beobachtung zugehörigen Grade eintheilen, um hier-

Digitized by Google

durch die Theilung der ganzen Scale zu erhalten. Bei der Verfertigung der barometrischen Scale auf die angegebene Weise giebt man dieser einen Normalpunct, stellt diesen auf denjenigen Grad der thermometrischen Scale, welchen das zum Instrumente gehörige Thermometer anzeigt, und trägt dann nach dem Stande des sperrenden Oels denjenigen Stand des Barometers auf die Scale m n auf, welchen das zur Regulirung angewandte Barometer zeigt. Ist die barometrische Scale m n (am besten bei unveränderter Temperatur) eingetheilt, so stellt man beim künftigen Gebrauche den Normalpunct der barometrischen Scale allezeit auf denjenigen Grad der thermometrischen Scale o p, welchen das Hülfsthermometer zeigt, und liest dann den Barometerstand nach der Scale m n ab. Zweckmäfsig ist die Zugabe eines Hygrometers, wie durch Adie geschehn ist, wenn nur nicht alle die auf solche Weise anzuwendenden hygroskopischen Substanzen mit der Zeit ihre hygrometrische Kraft verlören; dafs er aber bei einigen dieser Instrumente noch eine Scale angebracht hat, welche die gemessenen Höhen für 0° C. unmittelbar angiebt, macht den Apparat zu sehr zusammengesetzt. Soll der Apparat überhaupt das Barometer ersetzen, so ist es völlig genügend und bei weitem am besten, ihn in seiner einfachen Gestalt zu lassen und wie das Barometer selbst beim Höhenmessen zugleich mit einem für sich bestehenden Psychrometer in Anwendung zu bringen.

Eine nothwendige Bedingung bei diesem Instrumente ist eine sehr sorgfältige Ausführung, namentlich bei der empirischen Graduirung der Scalen. War diese genügend, so unterliegt es wohl keinem Zweifel, dafs es dem Meerbarometer nicht nur gleich kommt, sondern dasselbe in einiger Hinsicht übertrifft. Die Vorzüge desselben sind seine Leichtigkeit und Bequemlichkeit, der kleine Raum, den es einnimmt, und seine ungleich geringere Zerbrechlichkeit, nicht zu gedenken, dafs es beim Gebrauche auf der See den Schwankungen des Schiffs nicht unterliegt, die auf das Quécksilberbarometer so nachtheilig wirken. Dieses Zeugnifs gaben ihm auch nach ein- und mehrjähriger Prüfung Quintin Leitch Esq., Capitain Ross, welcher dasselbe auf seiner ersten Polar-Expedition gebrauchte, Lieut. Robertson und Stevenson, ja fast alle diese und auch Jameson fanden[1] aus einer Vergleichung der gleichzei-

1 Alle diese Autoritäten a. o. a. O.

tig mit einem Meerbarometer und dem Sympiezometer gemachten Beobachtungen, dafs das letztere noch empfindlicher ist, was für die geringen Unterschiede der Quecksilberhöhen zur See leicht durch eine etwas lange Scale des Sympiezometers erreicht werden kann. Schon für die Polarreise des Commodore Phipps wurde durch Ramsden eiligst ein solches Instrument als Meerbarometer verfertigt, welches sehr unvollkommen war, indem sich das Thermometer nicht neben der Manometer-Röhre befand, allein dennoch fand dasselbe so grofsen Beifall und so ausgezeichnetes Lob[1], dafs man kaum begreift, wie es wieder in Vergessenheit gerathen konnte. Dafs es jedoch das Barometer, da wo dieses ruhig hängen kann, übertreffen oder ihm nur gleichkommen sollte, daran ist durchaus nicht zu denken, schon aus dem einfachen Grunde, weil es ursprünglich von diesem abhängig ist und danach graduirt werden mufs. Aufserdem ist der Einflufs der Temperatur auf das Sympiezometer ausnehmend grofs, und da die Wärme des eingeschlossenen Gasvolumens nicht unmittelbar, sondern nur durch ein nebenhängendes Thermometer gemessen wird, so entsteht hieraus eine sehr weite Fehlergrenze. Aufserdem ist das Mandelöl von verhältnifsmäfsig geringer Fluidität, adhärirt an den Wandungen der Röhre mit einer nicht unmerklichen Kraft und erzeugt durch den Widerstand, welcher hieraus gegen die Ausdehnung und Zusammenziehung des eingeschlossenen Gas-Volumens erwächst, gewifs gröfsere Unrichtigkeiten, als durch die Capillarität beim Quecksilber verursacht werden.

Diese und ähnliche Fehler desselben neben gebührender Werthschätzung der sinnreichen Erfindung und vorzüglich guten Ausführung sind hauptsächlich durch James Dr. Forbes[2] gerügt worden. Nach diesem ist der Preis eines guten Sympiezometers noch höher, als der eines gewöhnlichen tragbaren Barometers[3], und obgleich minder schwer mufs es stets in der nämlichen Lage getragen werden; auch trennt sich die Säule des Oels leicht und erfordert dann eine beschwerliche Herstellung, die Viscosität des Oels aber verursacht, dafs man der längern Scale ungeachtet nur bis 0,01 Zoll mit Sicherheit

---

1 S. Phipps Voyage towards the North-Pole. Appendix.
2 Edinb. Journ. of Science. N. XX. p. 334.
3 Nach Watkins Kataloge kostet eins 6 Lstl. 6 Sh.

ablesen kann, statt dafs man bei einem Barometer von gleichem Preise bis zum Fünftel dieser Gröfse gelangt. Jedes gute Barometer bedarf höchstens einer Minute zur Herstellung seines Gleichgewichts, Adie fordert statt dessen fünf Minuten, und Forbes meint, es sey so unsicher, dafs man nie mit Gewifsheit auf einen festen Stand rechnen könne. Hierzu kommt noch, dafs einige Beobachter[1] aus der Erfahrung auf eine Absorption des Gases durch das Oel schliefsen zu müssen glauben, wonach also dieses Instrument zunehmend höhere Barometerstände anzeigt.

Um die Brauchbarkeit des Instruments genauer zu erforschen, gebrauchte Forbes dasselbe zur Messung der Höhe zwischen Colinton House und einer Bank am Seeufer bei Leith, nachdem zuvor der Höhenunterschied beider Stationen zu 141,1 Fufs durch trigonometrische Messung genau bestimmt worden war. Bei einer an acht verschiednen Tagen wiederholten Prüfung ergaben sich aber sehr bedeutende Fehler, die Forbes vorzüglich vom Einflusse der Temperatur ableitet und daher räth, man sollte das Thermometer in das Gefäfs mit Wasserstoffgas herabsenken und seine Kugel abplatten, die Quantität des Quecksilbers in demselben aber vermindern, um es empfindlicher zu machen, wenn die Scale dadurch auch beträchtlich kürzer würde. Als Forbes[2] später erfuhr, dafs auch Schumacher in einem Briefe an Brewster die Mangelhaftigkeit dieses Instruments gerügt habe, beschlofs er die Fehler desselben genauer aufzusuchen, um wo möglich Mittel zu deren Abhülfe aufzufinden. Hierbei entdeckte er vermittelst fortgesetzter stündlicher Beobachtungen, die er gleichzeitig mit denen des Barometers zur Auffindung der steten Schwankungen desselben anstellte, dafs im geraden Widerspruche mit der Behauptung in der Edinburger Encyklopädie das Volumen der eingeschlossenen Luft nicht vermindert, sondern vermehrt wurde, so dafs also das Sympiezometer den Luftdruck zunehmend geringer angiebt. Dieser Fehler stieg vom 1. Oct. 1829 bis zum 1. Sept. 1830 bis auf 0,276 engl. Zoll und wird richtig davon abgeleitet, dafs aus dem Oele allmälig unsichtbar kleine Luftbläschen aufsteigen, denn während der ganzen Zeit war

1 Edinb. Encyclop. Art. Meteorology. p. 173.
2 Edinb. Journ. of Science. New Ser. N. VII. p. 91.

der Faden des Oels im Röhrchen niemals getrennt, so dafs also keine Luft von aufsen eingedrungen seyn konnte. Um den Einflufs der Temperatur zu prüfen, brachte er das Instrument abwechselnd in höhere und niedrigere Temperatur, während der Barometerstand gleich blieb, vermied dabei die Einwirkung der Wärme des Beobachters, indem er sich eines Fernrohrs bediente, und fand, dafs das Luftthermometer dem mit Quecksilber gefüllten anfangs vorauseilte, dann aber hinter ihm zurückblieb, so dafs für einen Unterschied von 15° F., welchem beide ausgesetzt werden, 50 Min., für 10° F. 44 Min. und für 5° F. noch ungefähr 34 Minuten erfordert werden, bis beide unter günstigen Bedingungen den nämlichen Stand erreichen. Aus dieser Ursache erklären sich denn auch leicht die bedeutenden Unterschiede in der Bestimmung der gemessenen Höhen, die er bei abermaligen wiederholten Versuchen auf einer andern Station erhielt.

Forbes[1] hat noch die Hauptresultate einer langen Reihe späterer Versuche mitgetheilt, allein diese fallen nicht günstiger aus. Am wenigsten ist das Instrument auf Reisen brauchbar, wo man sich an den einzelnen Stationen nicht lange aufhalten und kein zur Controle dienendes Barometer benutzen kann. Dabei giebt er ihm jedoch das Zeugnifs, dafs das von ihm auf einer Tour von mehrern hundert Meilen durch Schottland in einem leichten offenen Wagen transportirte Exemplar keine Beschädigung erlitt, so dafs es in dieser Hinsicht also Empfehlung verdienen würde, wenn es übrigens seinen Hauptzweck besser erfüllte.

Ueberblicken wir das Ganze, so bestätigt sich das anfangs ausgesprochene Urtheil, dafs das Sympiezometer niemals im Stande seyn wird, für den Gebrauch auf dem Lande das Barometer zu verdrängen oder auch nur zu ersetzen; auf der See dagegen, wo der Gebrauch des Barometers schwierig ist, die Temperatur aber an dem Orte, wo das Sympiezometer hängen kann, weniger veränderlich zu sein pflegt, und wo es nicht sowohl auf eine Messung der absoluten Länge der Quecksilbersäule, als vielmehr hauptsächlich auf die Wahrnehmung plötzlicher Veränderungen des Luftdruckes, als Vorzeichen bevorstehender Stürme, ankommt, wird es allezeit ein sehr nütz-

1 Ebend. N. VIII. p. 329.

licher Apparat bleiben. Hierfür schadet es selbst nicht wesentlich, wenn das Luftvolumen durch Entbindung von etwas Gas aus dem Oele ein wenig vermehrt wird, doch bleibt dieses allezeit ein Fehler, welcher vermuthlich dadurch beseitigt oder mindestens vermindert werden könnte, dafs man das Instrument erst eine geraume Zeit nach seiner Füllung gebrauirte, um der Luft Zeit zu lassen, in den obern Raum aus dem Oele aufzusteigen. Weil aber die Veränderung der Temperatur den gröfsten Einfluſs auf dieses Instrument ausübt, so scheint mir diejenige Construction desselben am zweckmäfsigsten, die aus der Zeichnung ersichtlich und von Fouin Fig. 411. gleichfalls erwähnt worden ist, wonach die Mefsröhre nebst dem zur Reguliruug dienenden Thermometer in eine Glasröhre eingeschlossen ist, deren oberes und unteres Ende durch eine messinghe Kapsel verschlossen sind, und wobei die äufsere atmosphärische Luft keinen andern Zugang hat, als neben der zum Ablesen der Höhe des Oelfadens dienenden Scale, die der veränderlichen Temperatur wegen von aufsen verschoben werden mufs. Es scheint nämlich, so weit sich ohne eine Prüfung durch längere Erfahrung urtheilen läfst, als ob hierdurch die Temperatur des Sympiezometers selbst und des Thermometers, mindestens in der Regel, stets gleichmäfsig seyn würde, wenn man nicht den ganzen Apparat zu leicht zu grofsen Unterschieden der äufsern Temperatur aussetzt.

M.

Syzygien.

Syzygiae; Syzygies; *Syzygies.*

Diese Benennung führen diejenigen Stellungen der Planeten, in welchen sie mit der Erde in einer geraden Linie oder genauer in derselben auf die Ekliptik senkrechten Ebene stehn. Gewöhnlich gebraucht man dieses Wort nur bei dem Monde, der also, der gegebenen Erklärung gemäfs, zur Zeit des Neu- und des Vollmonds in seinen Syzygien ist, weil er dort dieselbe Länge mit der Sonne und hier eine um 180 Grade von ihr verschiedene Länge hat. Die Syzygien der Mondbahn fallen demnach in die Mitte zwischen die beiden *Quadraturen*[1]. Diese Benennung kommt übrigens von dem griechischen Worte *συζυγία*, Verbindung, welches schon PTOLEMÄUS in seinem Almagest gebrauchte. Die mittlere Umlaufszeit des Monds in Beziehung auf die Syzygien, d. h. also die Zeit zwischen zwei nächsten mittlern Neu- oder Vollmonden, nennt man auch die *synodische* Umlaufszeit des Mondes (von *σὺν* mit und *ὁδὸς* Weg) und sie beträgt nach den neuesten Bestimmungen 29,530587 Tage oder 29 Tage 12 Stunden 44 Min. und 2,7168 Secunden. Daraus folgt, dafs 12 synodische Monate 345 T, 367057 betragen oder 10,883 Tage weniger, als ein julianisches Jahr von 365,25 Tagen. In den kirchlichen Rechnungen, nach welchen unsere Festtage im Kalender bestimmt werden, nahm man für diese Differenz in runder Zahl 11 Tage an und setzte dabei den synodischen Monat zu 30 Tagen voraus. Wenn daher ein Jahr mit einem Neumonde anfängt, d. h. wenn in einem Jahre der Neumond auf den ersten Januar fällt, so fällt er in dem nächstfolgenden Jahre stets um 11 Tage früher, so dafs also im Anfange des zweiten Jahrs schon 11 Tage seit dem letzten Neumonde verflossen sind und dafs also auch alle Neu- und Vollmonde dieses zweiten Jahrs um 11 Tage früher, im dritten Jahre um 22, im vierten um 33 (d. h., da der Mondmonat 30 Tage hat, um 3), im fünften J. um 44, d. h. um 14 Tage früher u. s. w. Man nennt diese Zahlen 11, 22, 3, 14, 25, 6, 17 u. s. w. die *Epakten*, deren sich unsere Vorgänger bedien-

---

1 Vergl. *Aspecten*. Bd. I. S. 401.

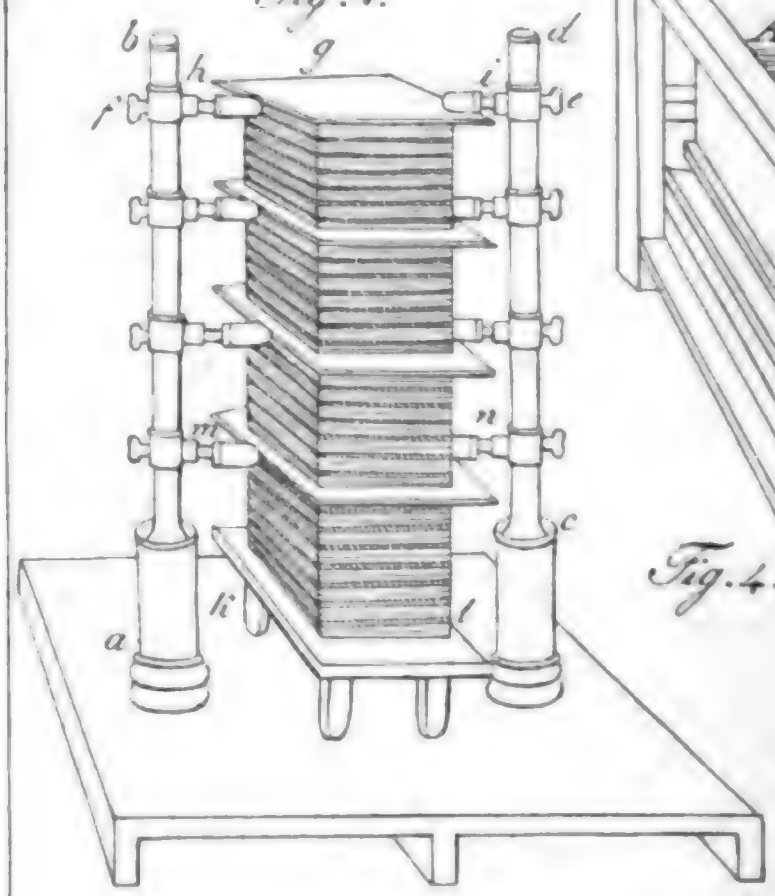
ten, die Zeit des Osterfestes zu bestimmen, von welchem bekanntlich alle übrige bewegliche Feste der Kirche abhängen. In unsern Tagen gebraucht man diese und mehrere andere Kalender-Utensilien nicht mehr, da man diese Festbestimmungen nach einfachen algebraischen Vorschriften geben kann.

L.

Ende des achten Bandes.

Digitized by Google

Fig. 1.



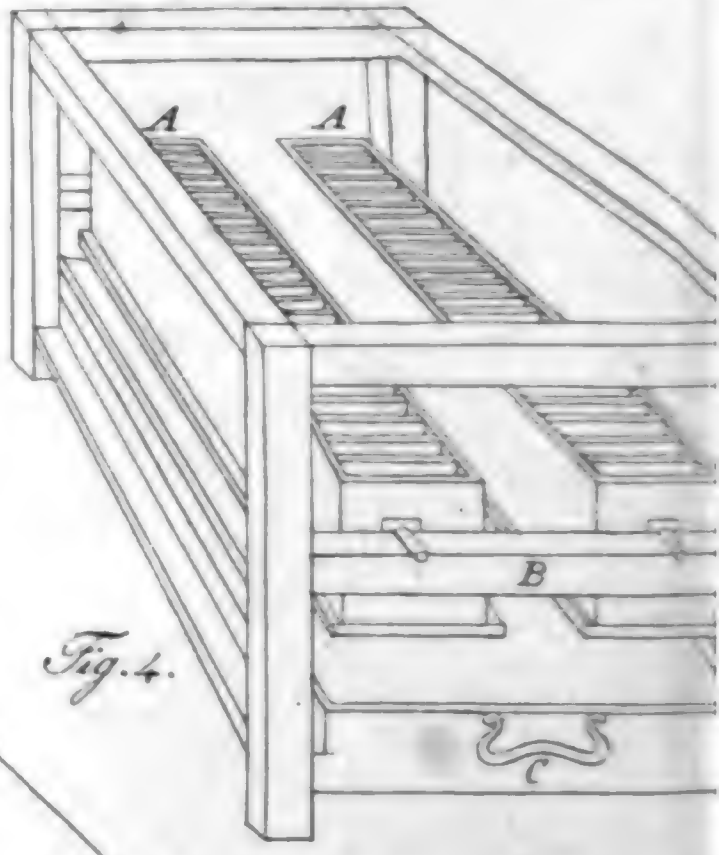


Fig. 4.

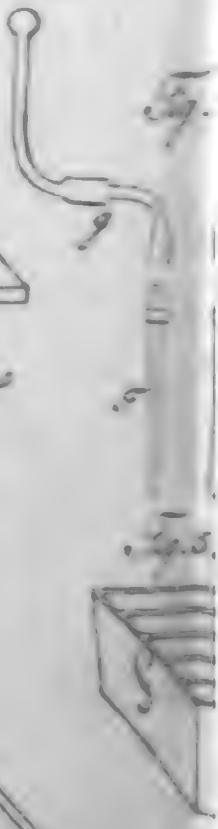


Fig. 5.

Fig. 8.

Seybert del.

Tab. I.

Fig. 3.

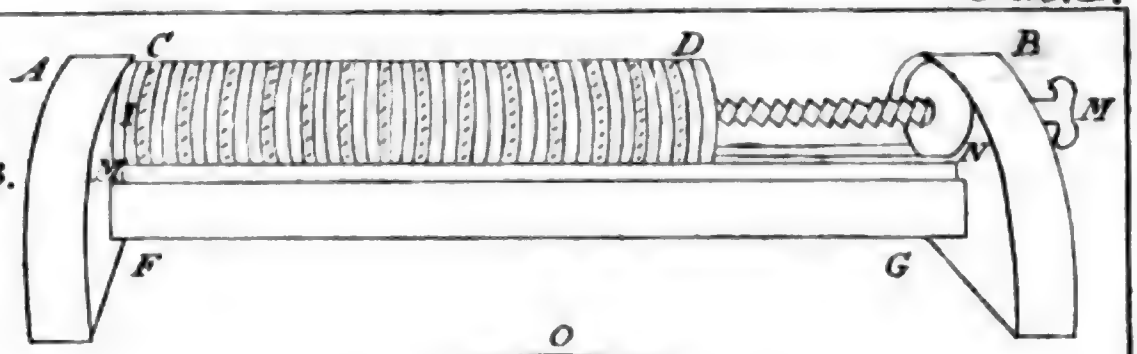
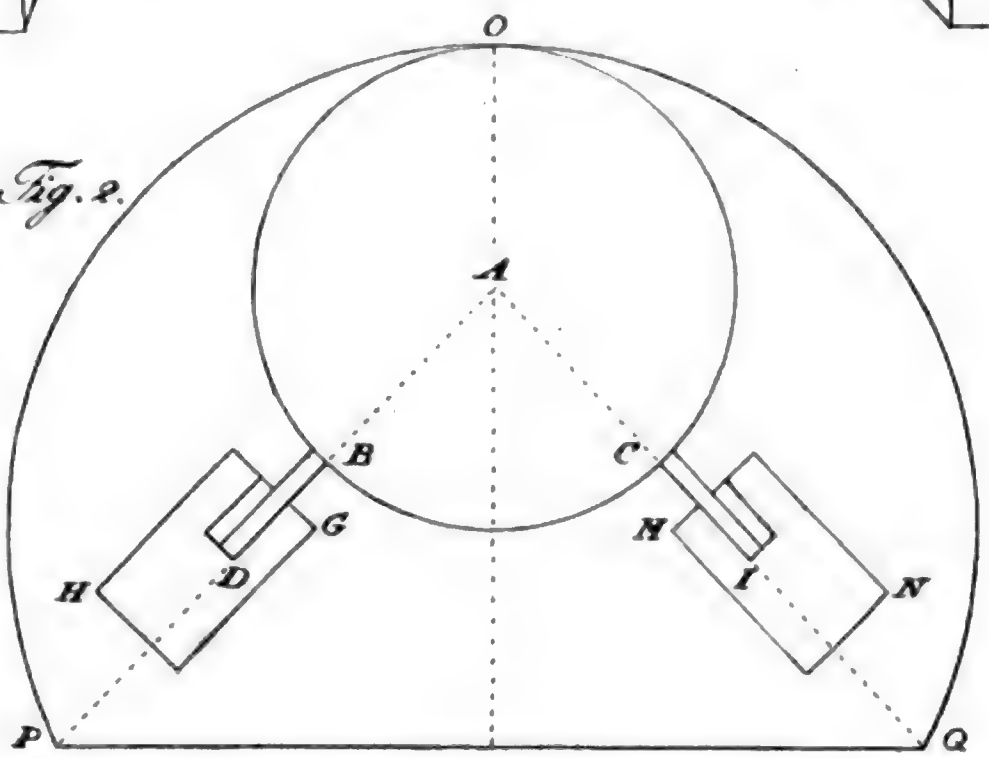
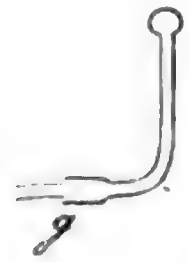


Fig. 2.





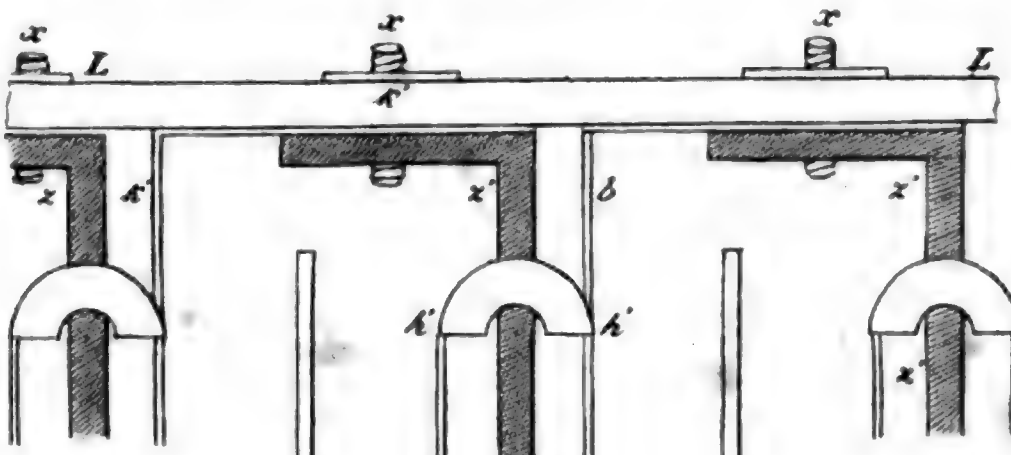
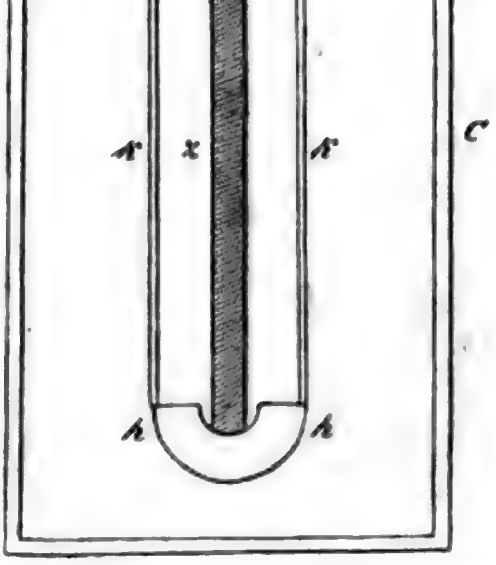


Fig. 9.



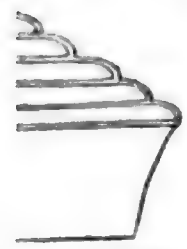
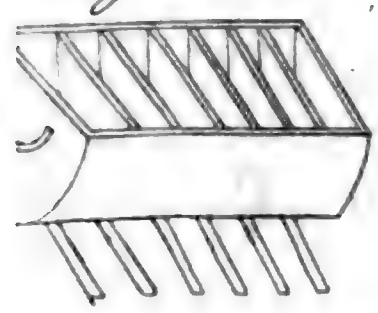


Fig. 6.

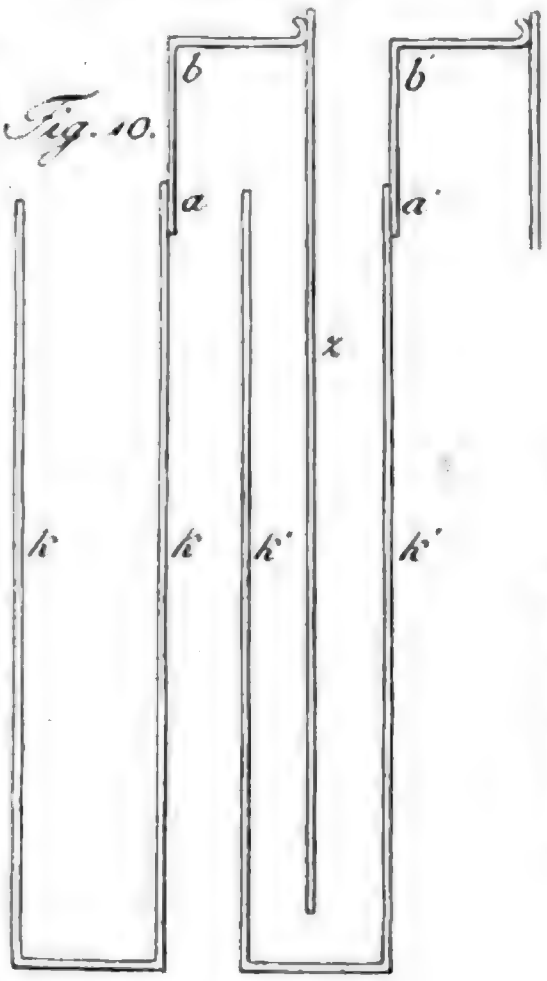


Art. Kabaker sc.

Digitized by Google

Bd. VIII.

Fig. 10.



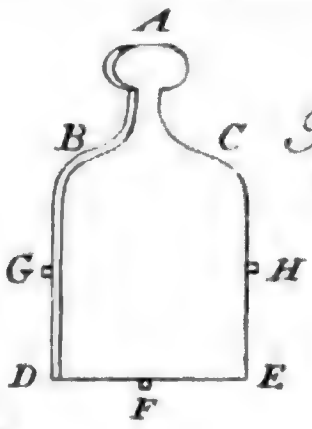
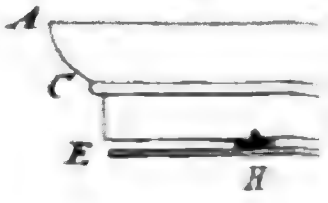


Fig. 12.

Fig. 13.



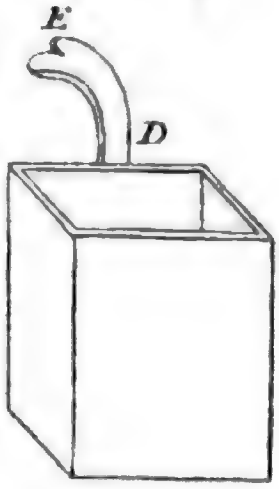


Fig. 11.

Fig. 20.

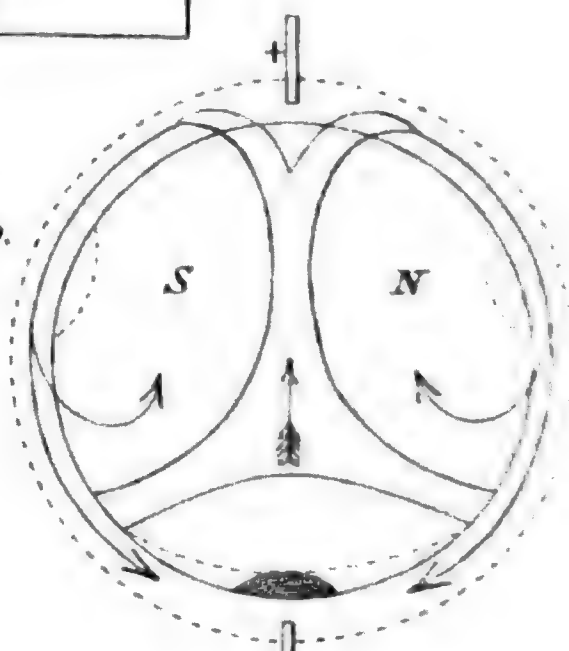


Fig. 17.

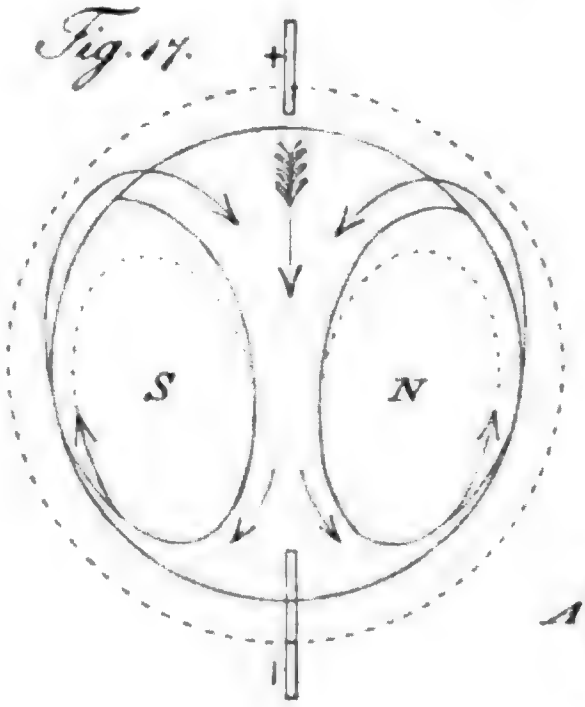
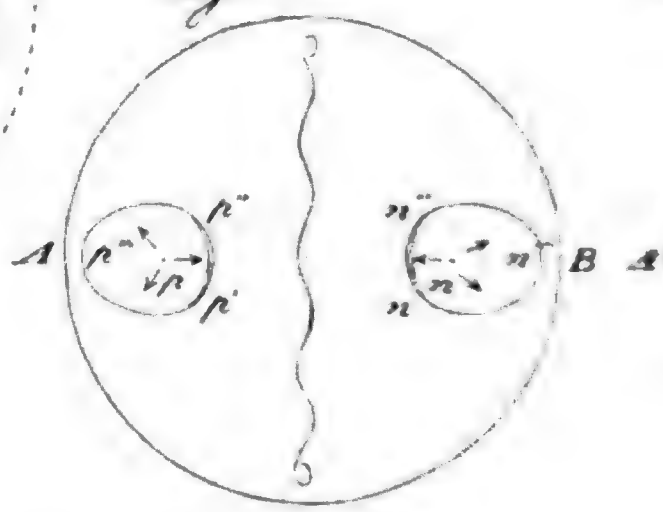


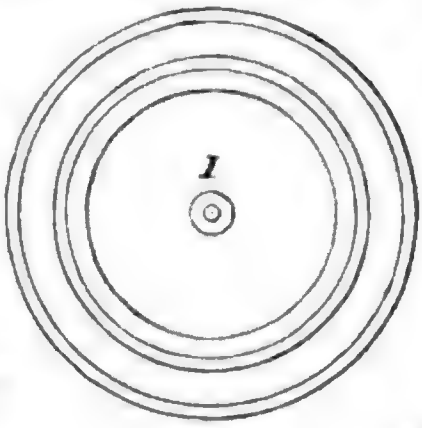
Fig. 18.



Seybert del.

Digitized by Google

Fig. 15.



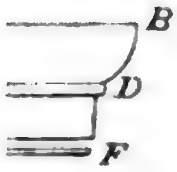


Fig. 14.

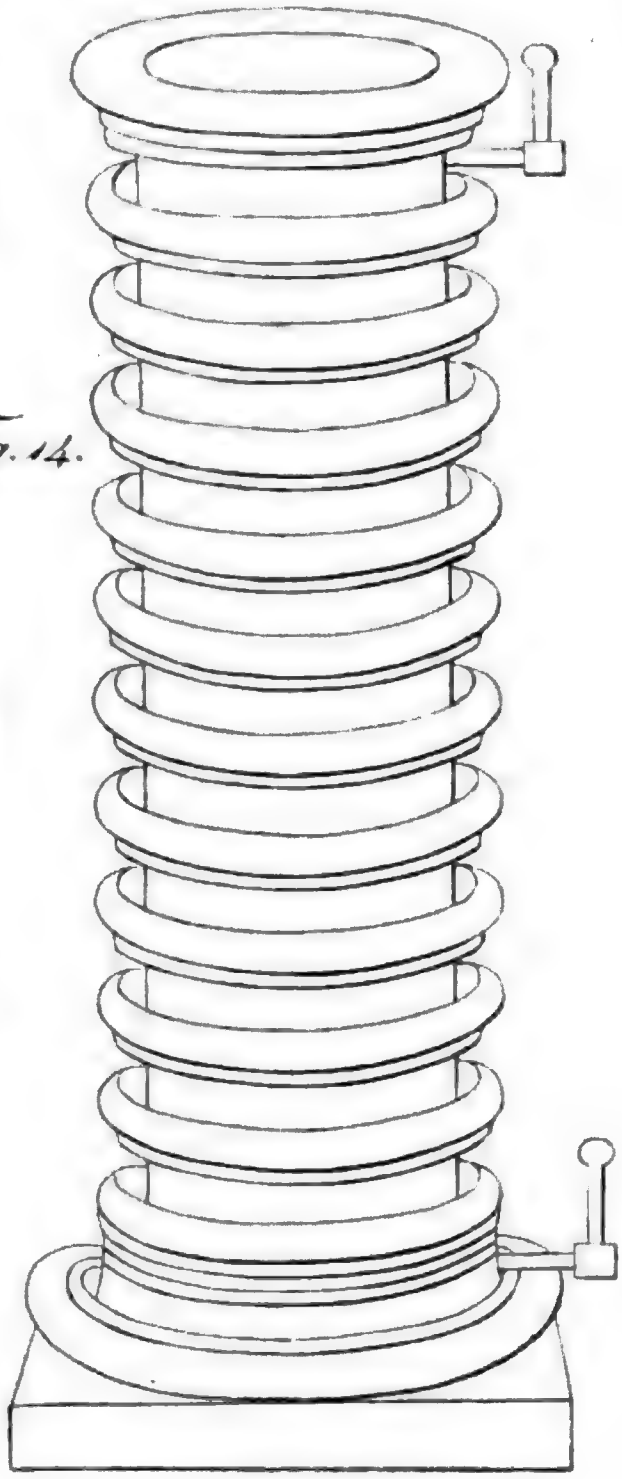


Fig. 16.

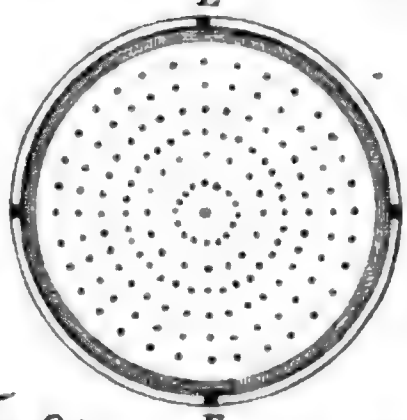


Fig. 21.

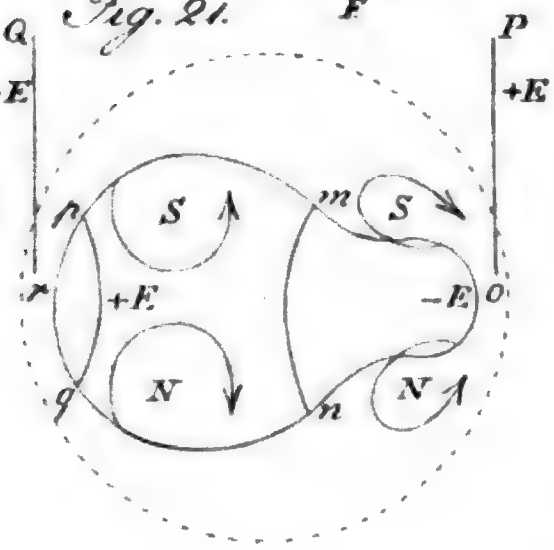


Fig. 19.

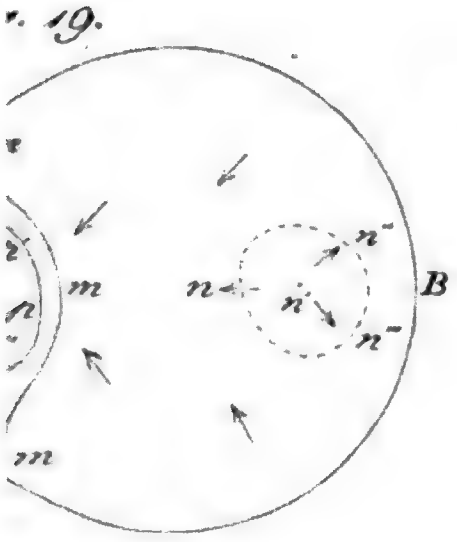
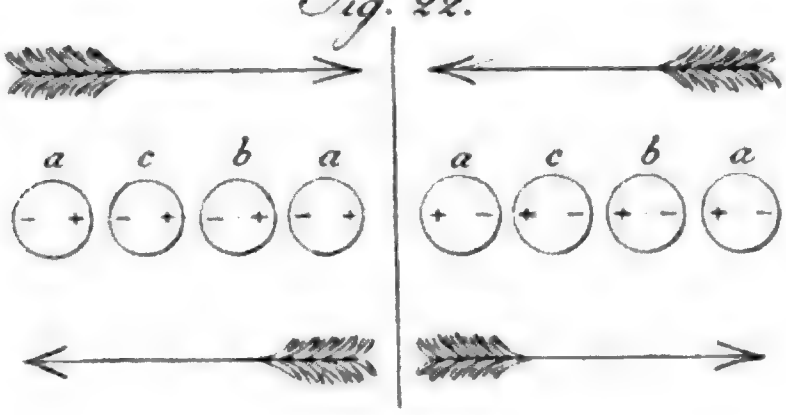


Fig. 22.



Ant. Karcher sc.

Bd. VIII.

Fig. 22.

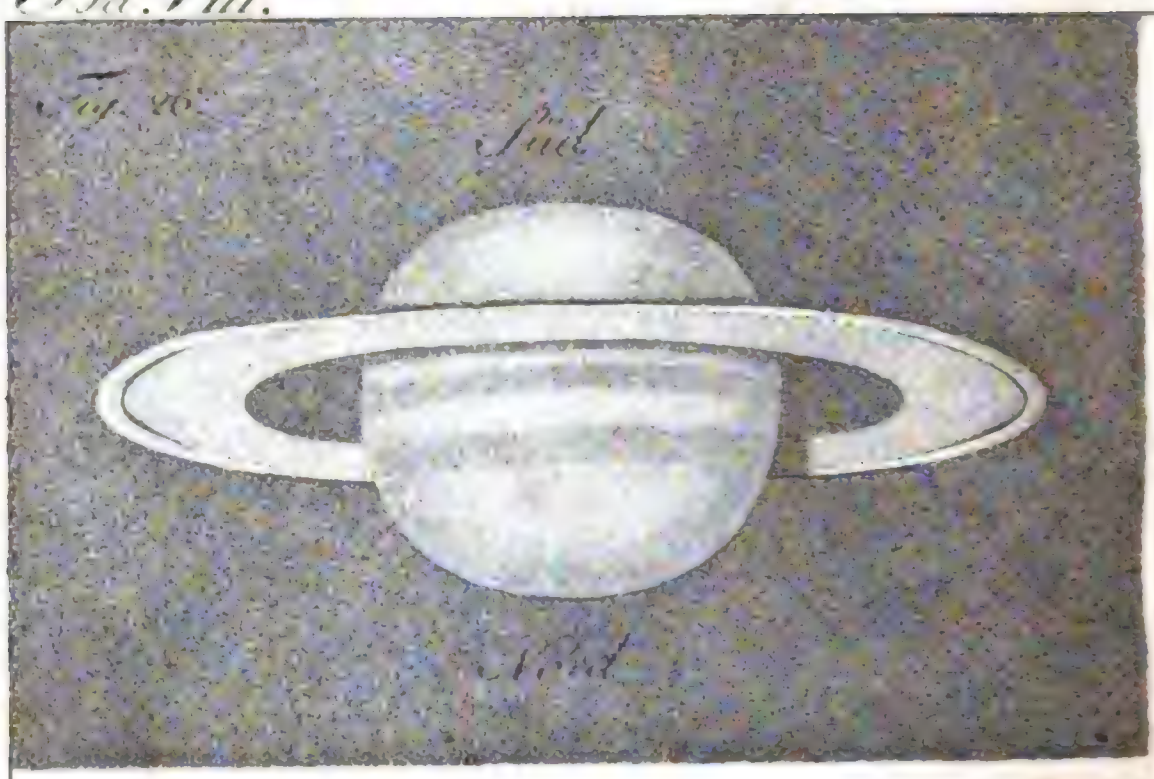


Fig. 23.

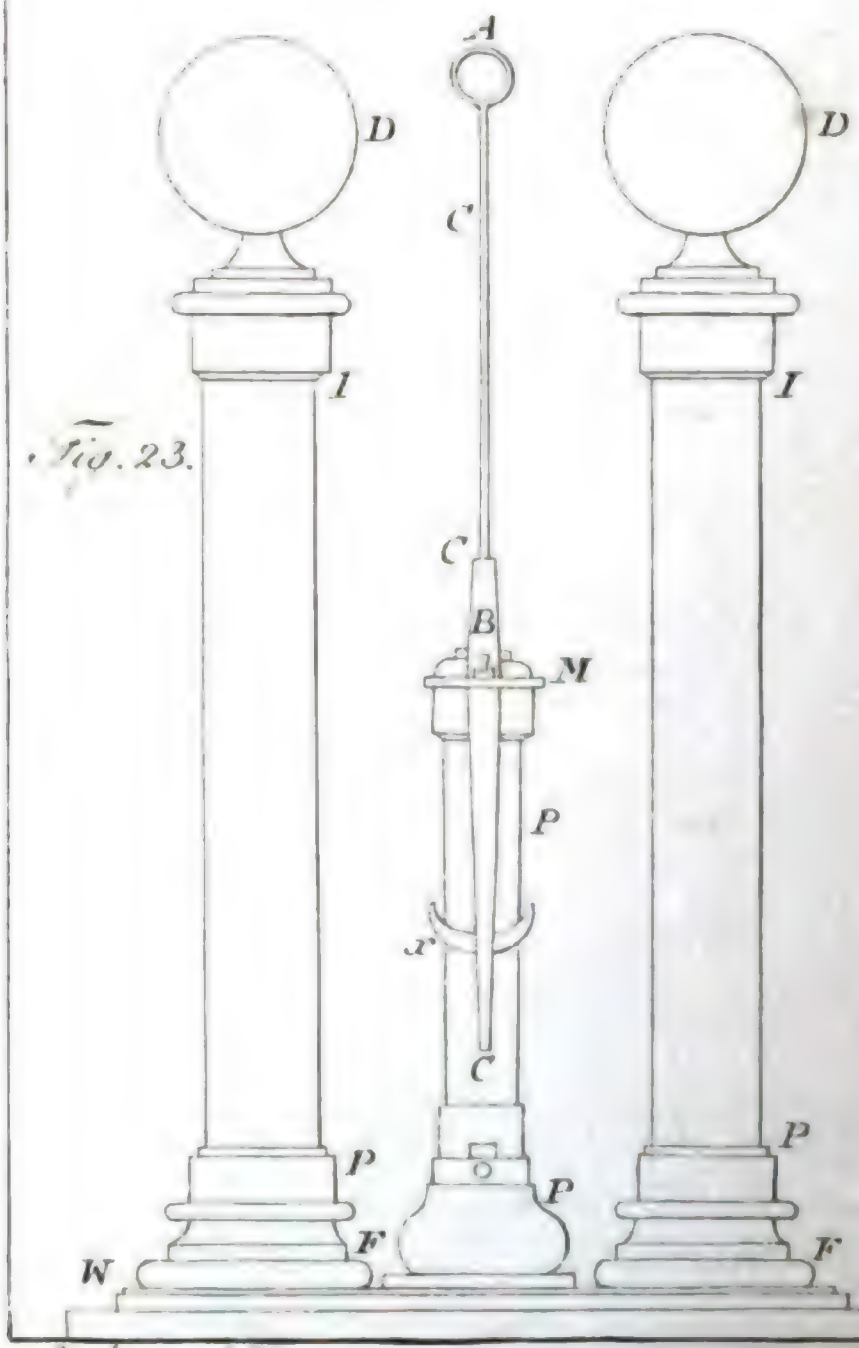
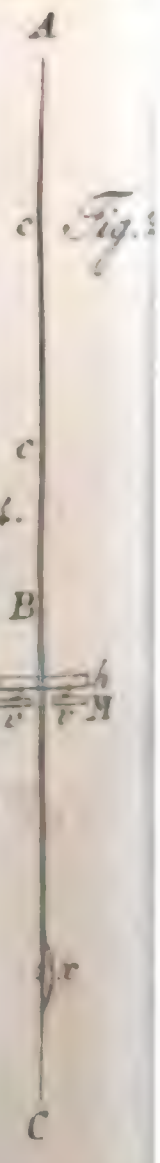


Fig. 24.



Seybert del.

Fig. 27.

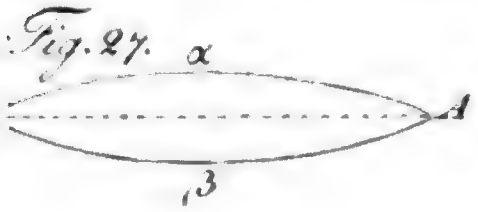


Fig. 28.

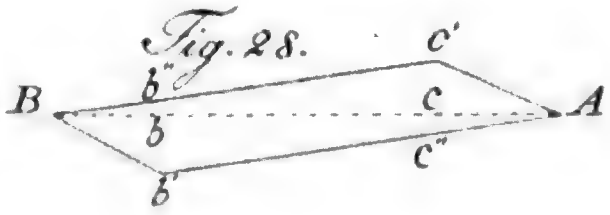


Fig. 29.

Fig. 30.

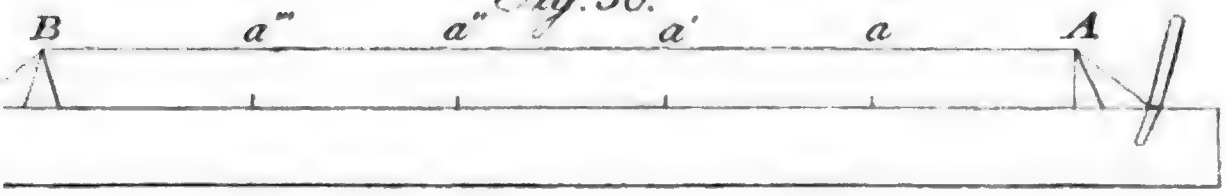


Fig. 31.

Fig. 32.

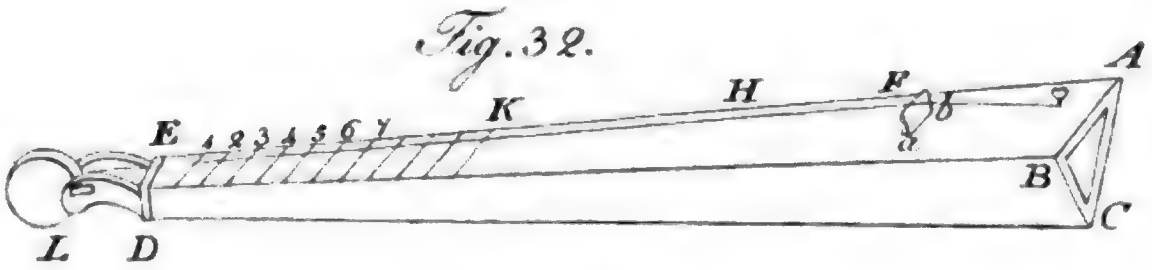


Fig. 33.

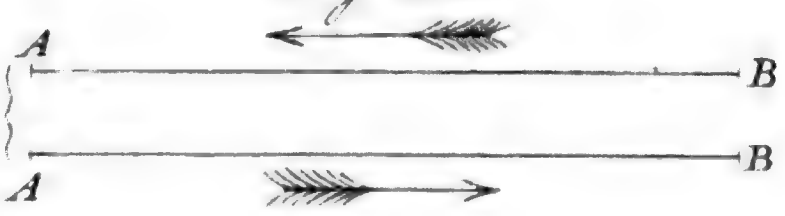


Fig. 34.

Ant. Jaracher sc.

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 35.

Fig.

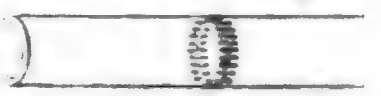


Fig. 40.

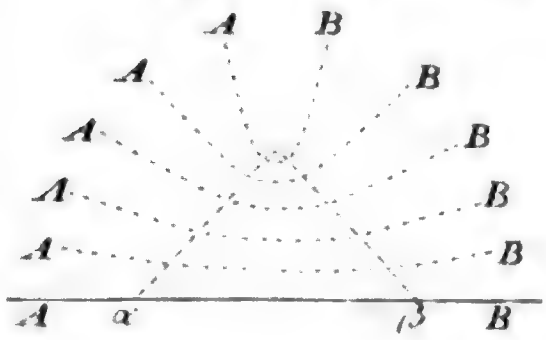


Fig. 41.

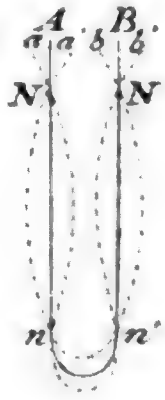


Fig. 47.

Fig. 42.

Fig. 43.

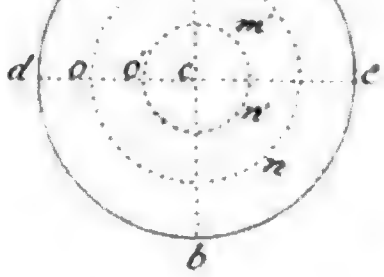


Fig. 4

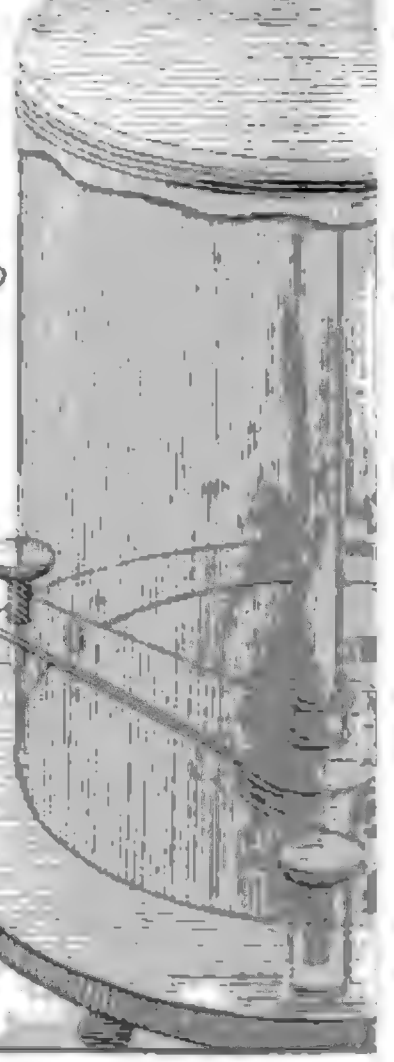
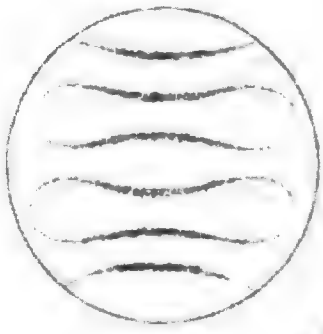


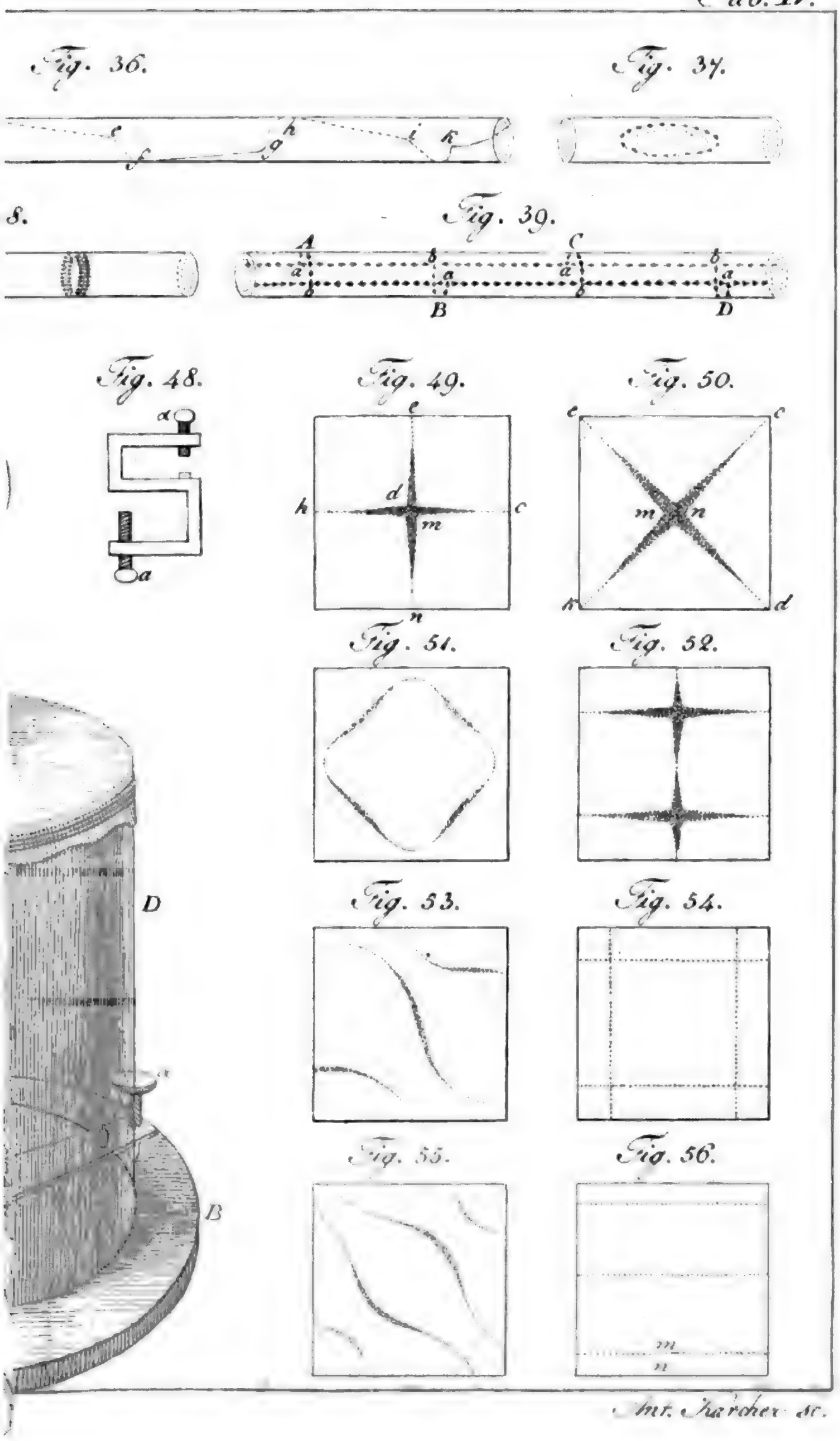
Fig. 45.

Fig. 46.



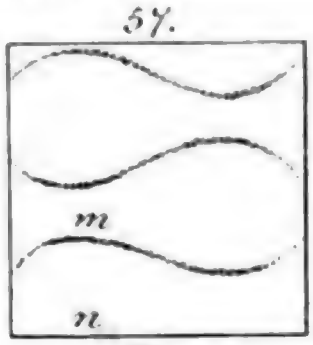
Seybert del.

Digitized by Google

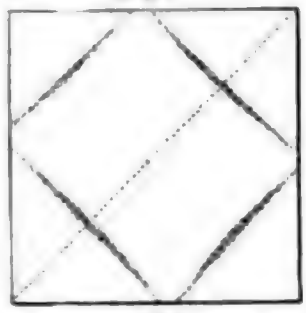


Ant. Karcher sc.

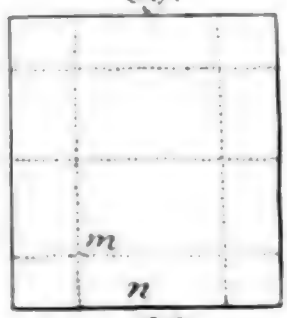
57.



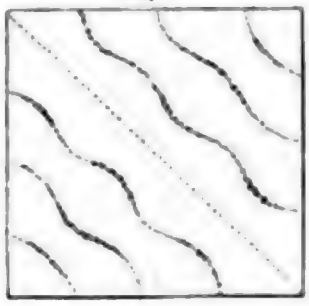
58.



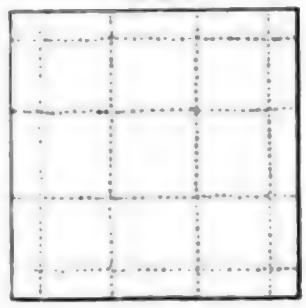
59.



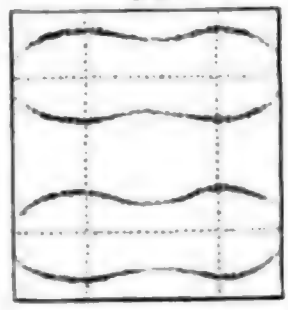
64.



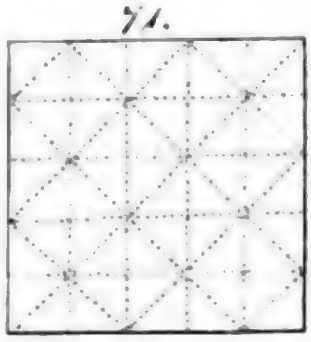
65.



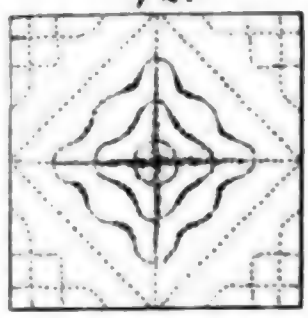
66.



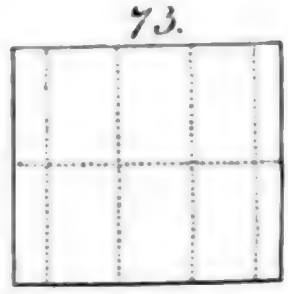
71.



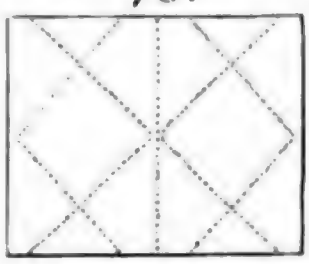
72.



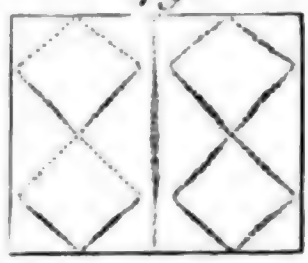
73.



78.



79.



80.

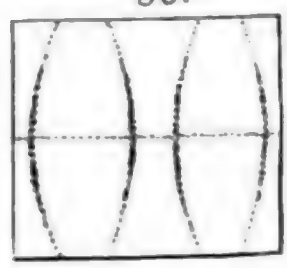


Fig. 84.

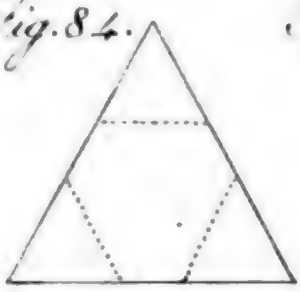


Fig. 85.

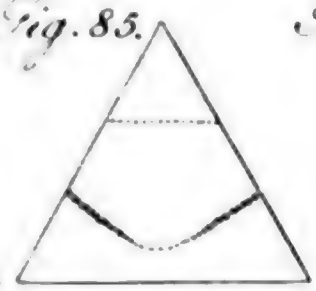


Fig. 86.

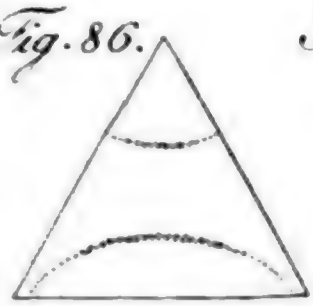


Fig. 87.

Fig. 92.

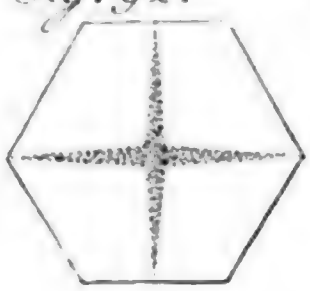


Fig. 93.

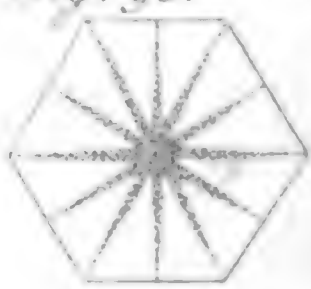


Fig. 94.

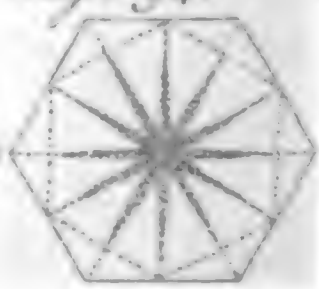
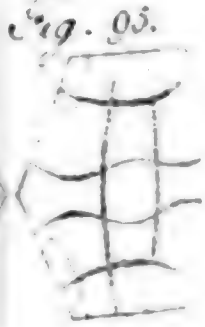


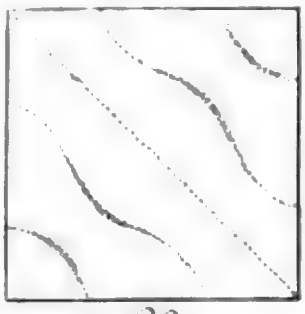
Fig. 95.



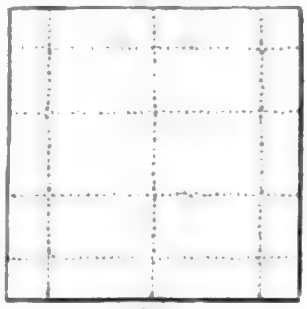
Seybert del.

Digitized by Google

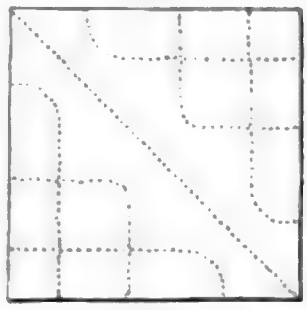
64.



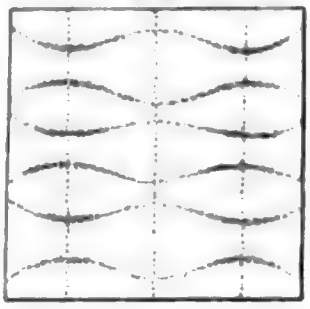
62.



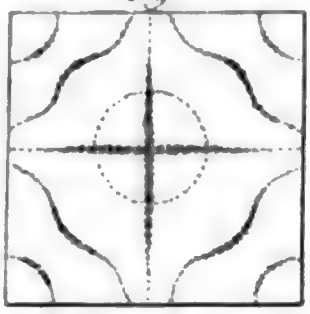
63.



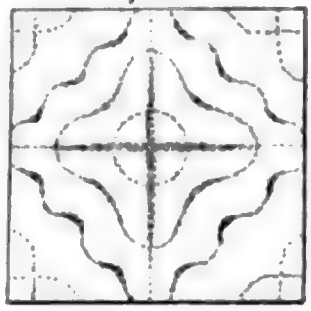
68.



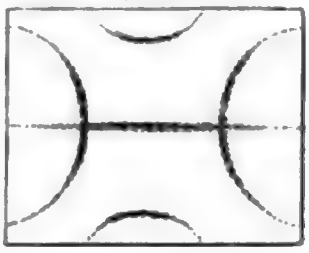
69.



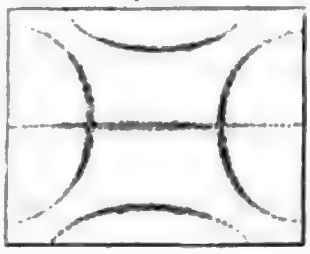
70.



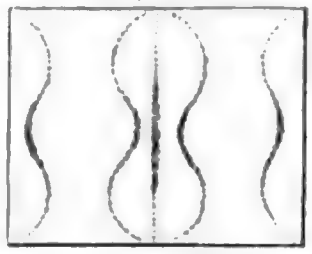
75.



76.



77.



82.

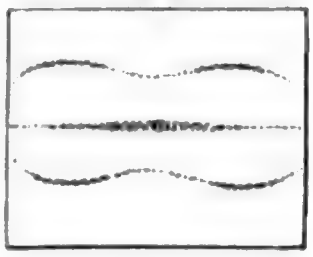
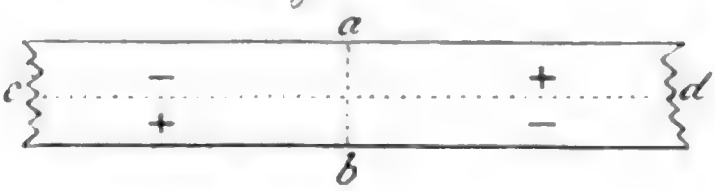


Fig. 83.



. 88.

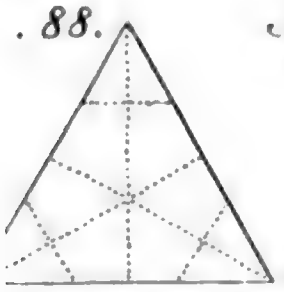


Fig. 89.

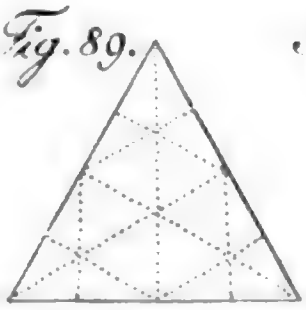


Fig. 90.

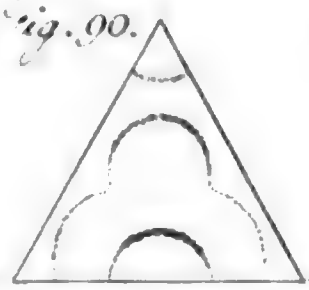
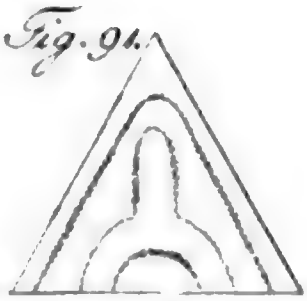


Fig. 91.



ig. 96.

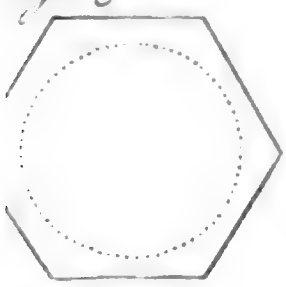


Fig. 97.

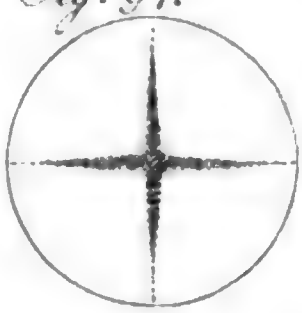
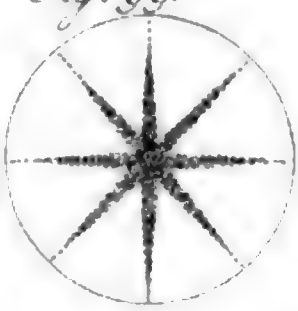


Fig. 98.

Fig. 99.



Ant. Tarcher Sc.

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 100.

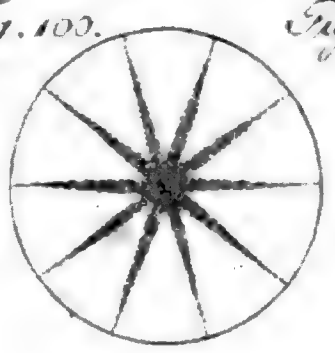


Fig. 101.

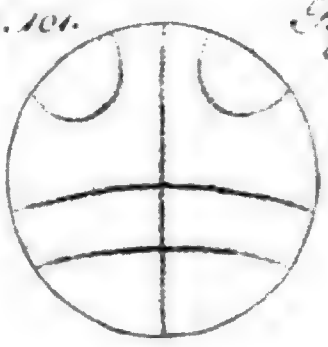


Fig. 102.

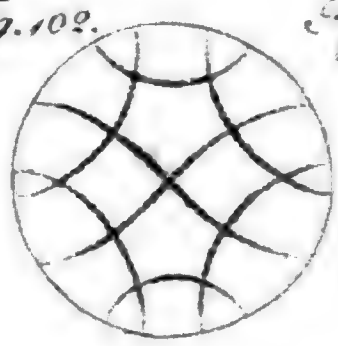


Fig. 103.

Fig. 107.

Fig. 108.

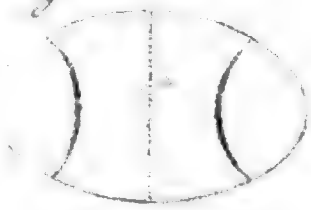


Fig. 109.

Fig.

Fig. 114.

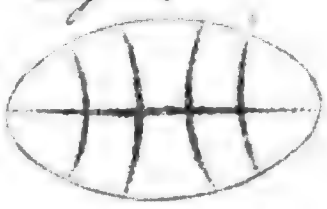


Fig. 115.

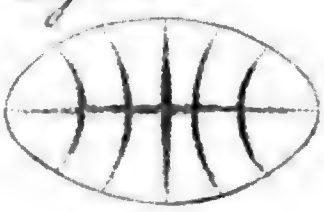


Fig. 116.

Fig.

Fig. 121.

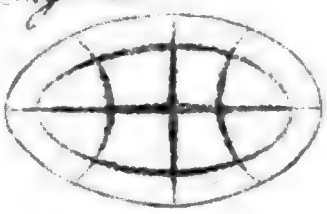


Fig. 122.

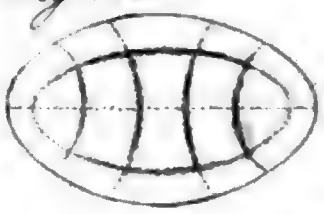


Fig. 123.

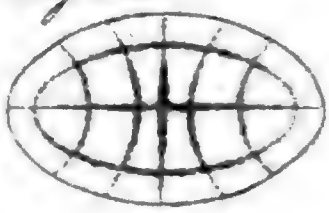
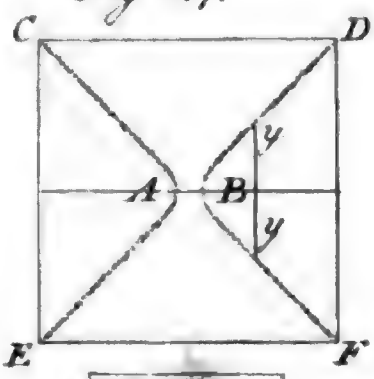


Fig.

Fig. 127.



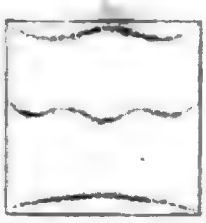


Fig. 131.

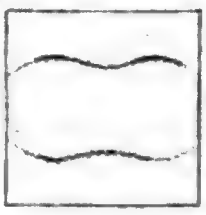
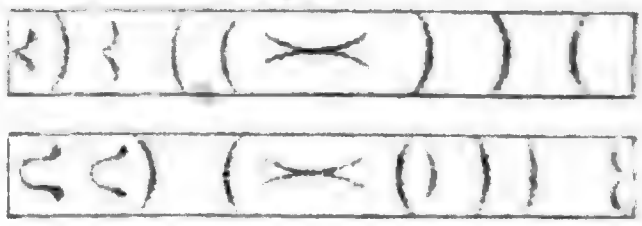


Fig. 128.

Fig. 129.

Fig. 130.



Seybert del.

Digitized by Google

Fig. 104.

Fig. 105.

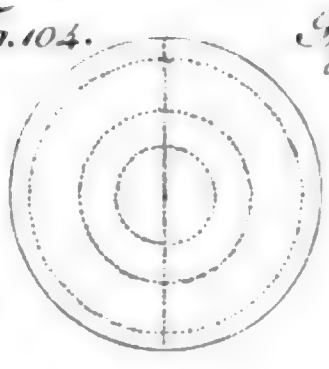


Fig. 106.

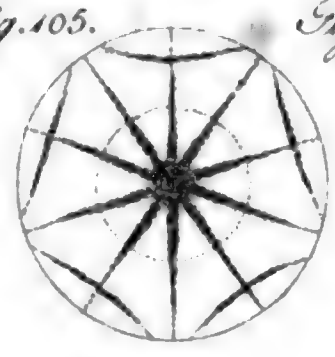


Fig. 111.

Fig. 112.

Fig. 113.

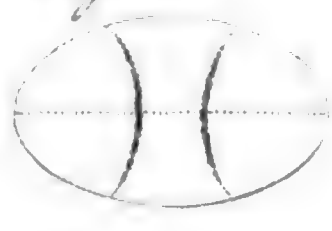


Fig. 118.

Fig. 119.

Fig. 120.

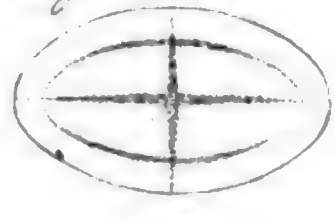
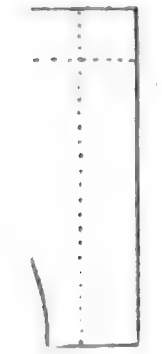


Fig. 125.



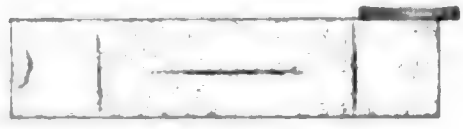


Fig. 126.

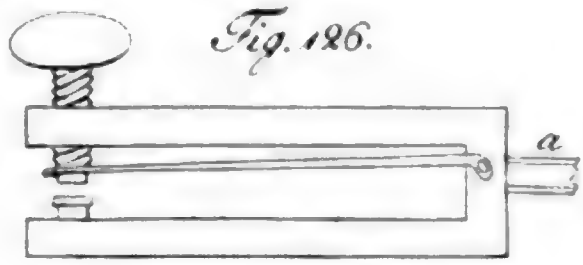


Fig. 134.

Fig. 133.

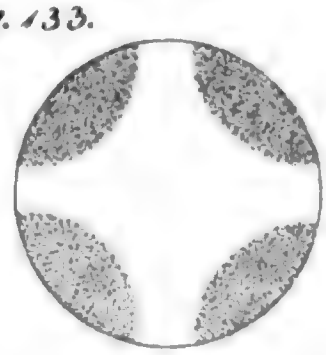


Fig. 132.

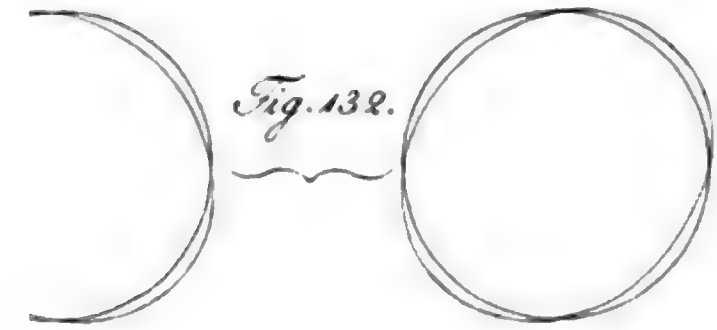
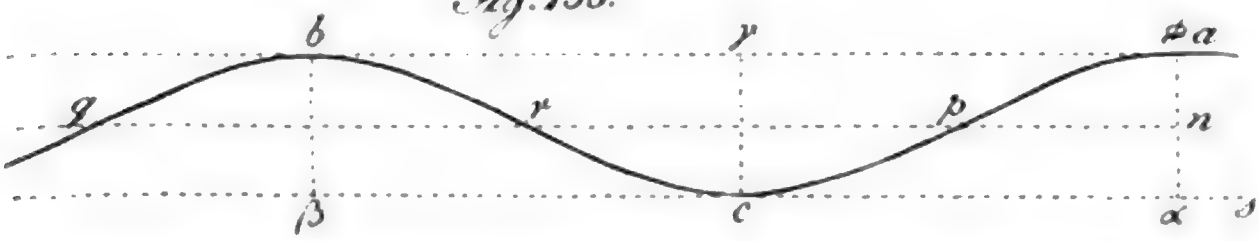


Fig. 135.



Ant. Karcher sc.

Digitized by Google

Fig. 136.

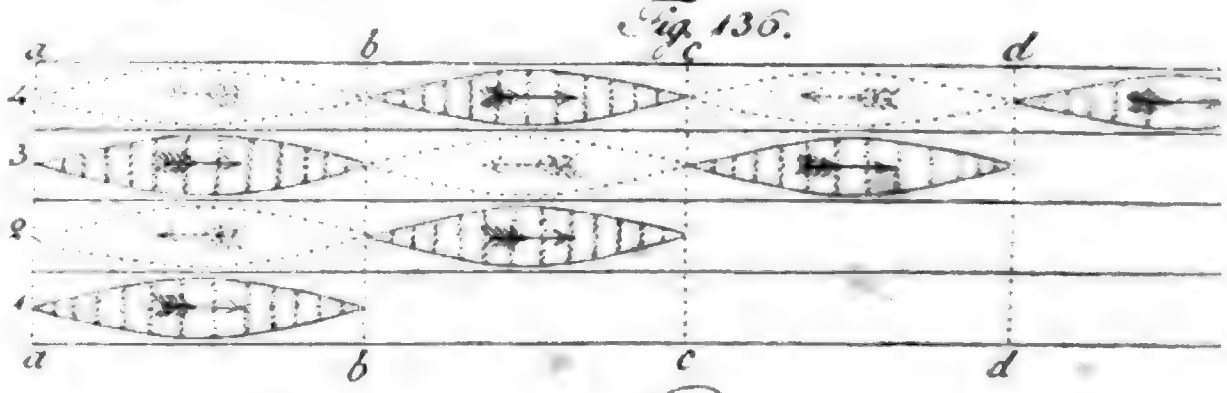


Fig. 142.

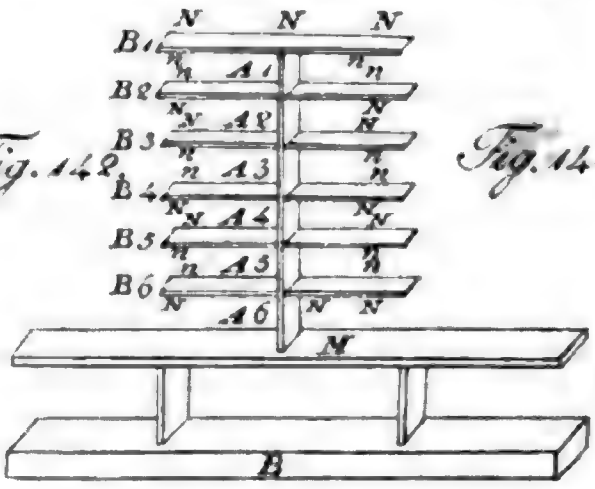


Fig. 143.

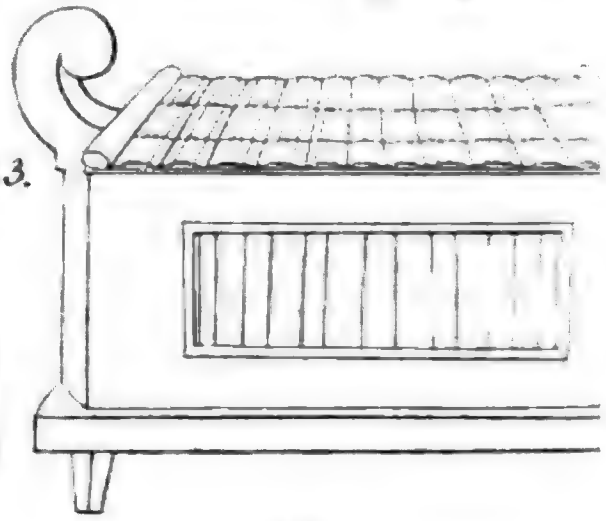
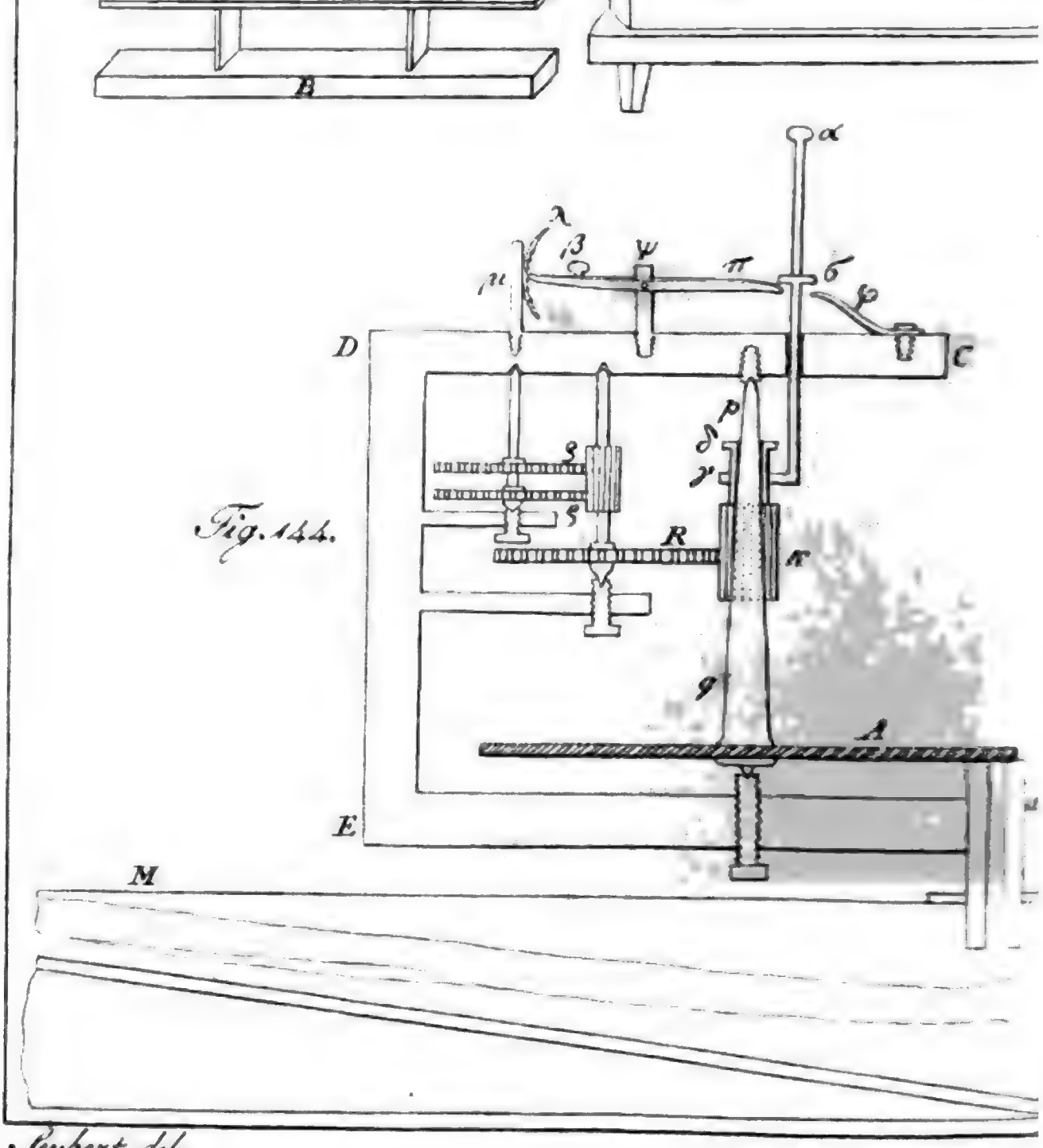


Fig. 144.



Seybert del.

Digitized by Google

Fig. 137.

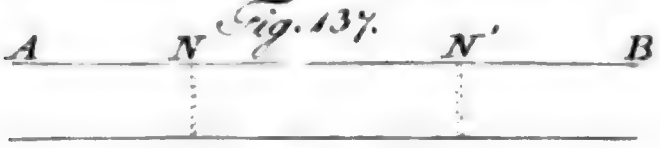


Fig. 138.

Fig. 139.

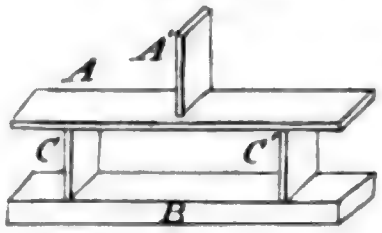


Fig. 140.

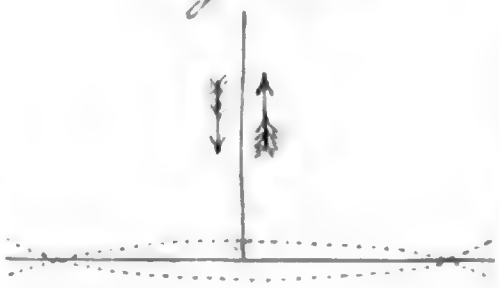
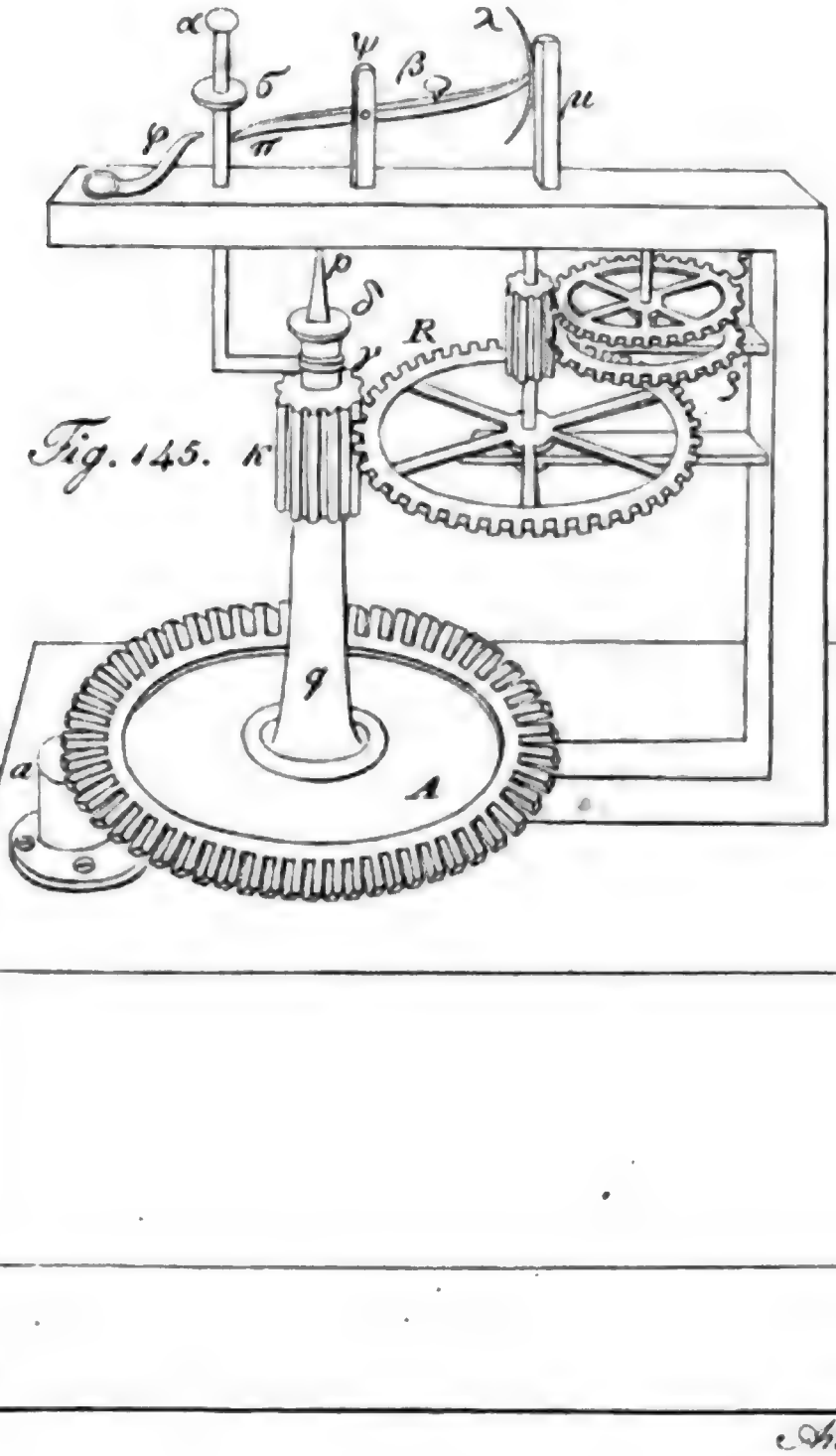


Fig. 141.

Fig. 145.



Ant. Karcher sc.

Digitized by Google

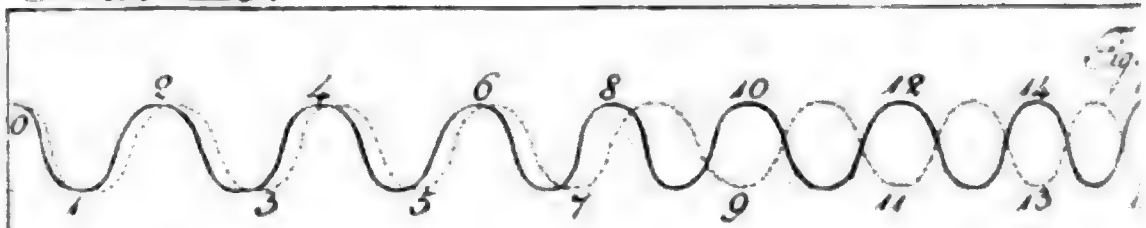


Fig. 150.

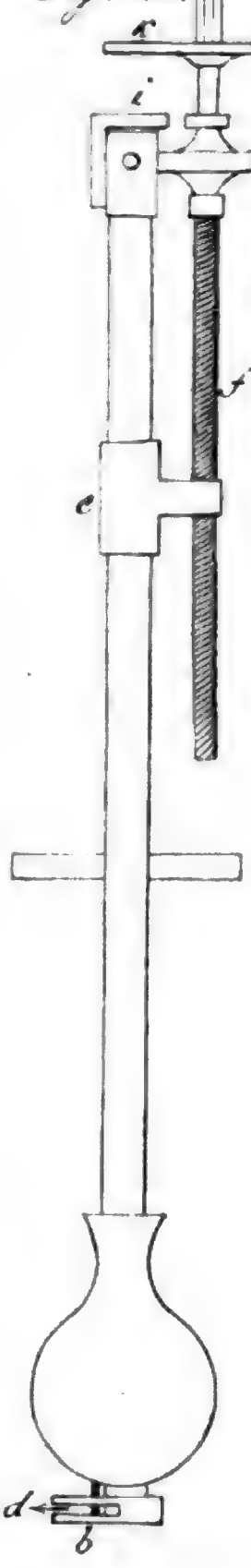


Fig. 148.

Fig. 149.

Fig. 152.

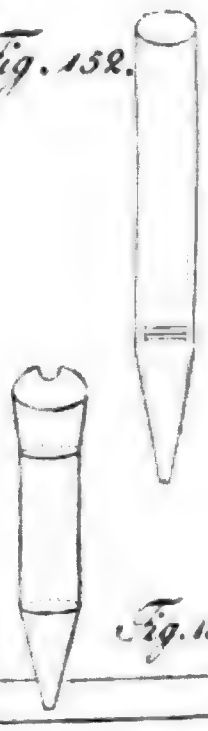


Fig. 153.

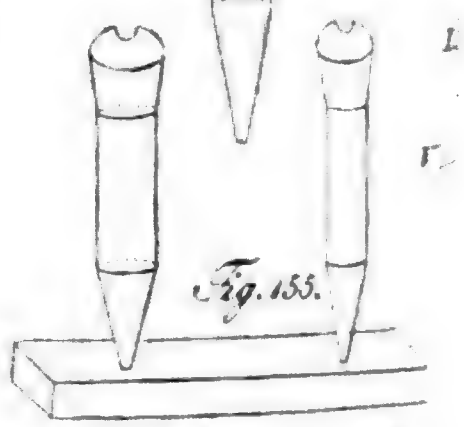


Fig. 155.

Fig. 156.

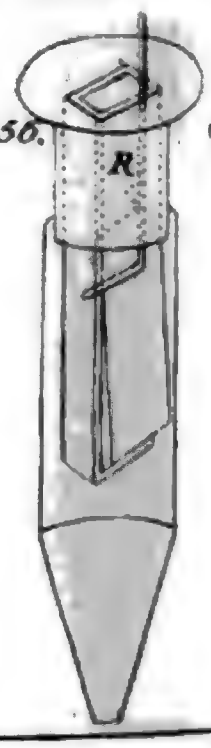
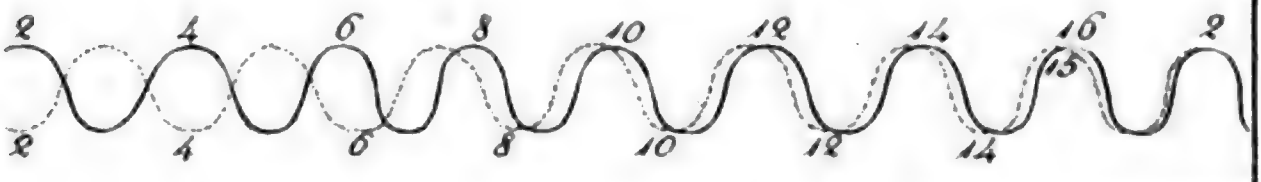


Fig. 157.

Seybert del.

Digitized by Google



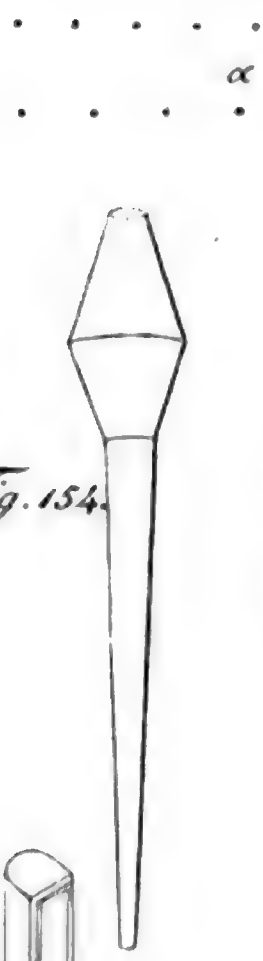


Fig. 154.

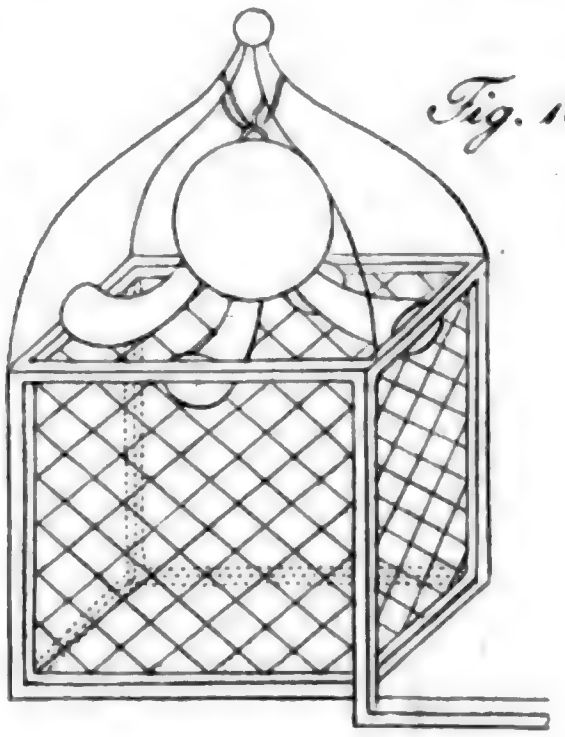


Fig. 162.

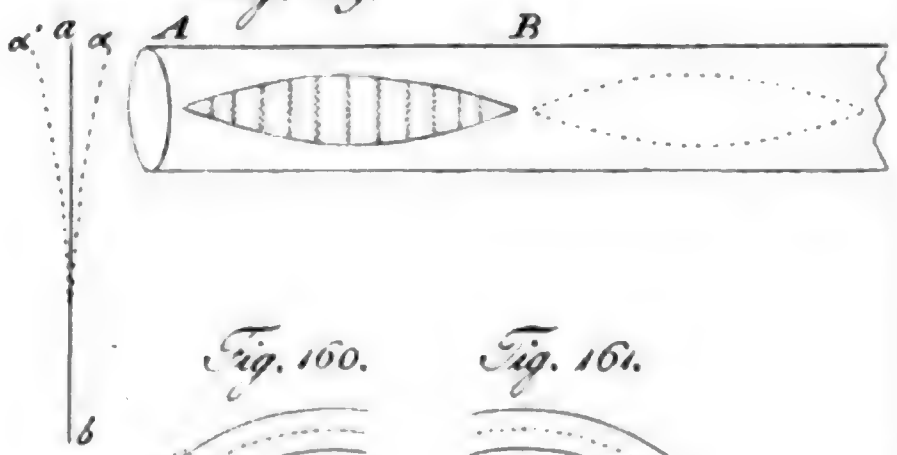


Fig. 159.

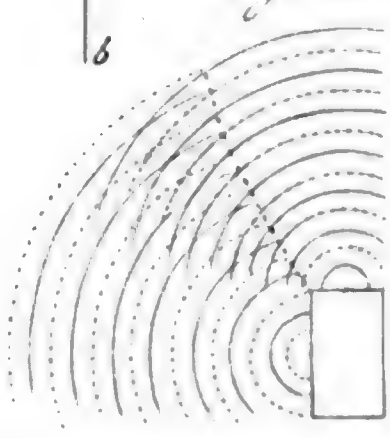


Fig. 160.

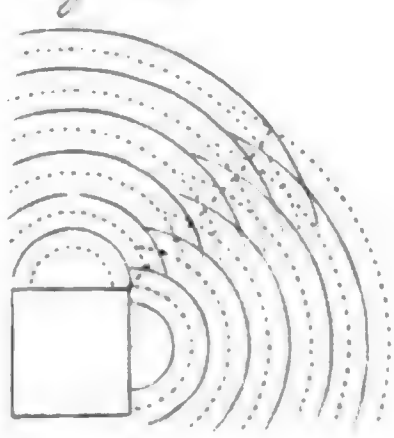


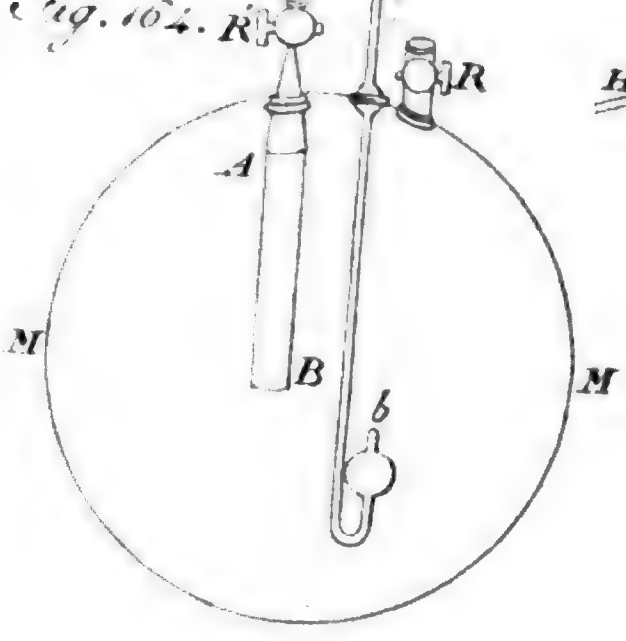
Fig. 161.

Ant. Karcher sc.

Pl. VIII.

Fig. 163.

Fig. 164.



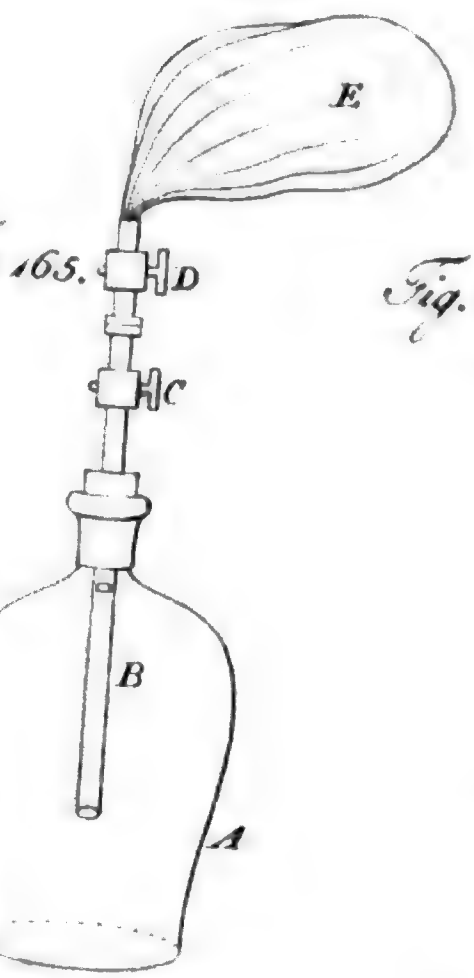


Fig. 165.

Fig. 166.

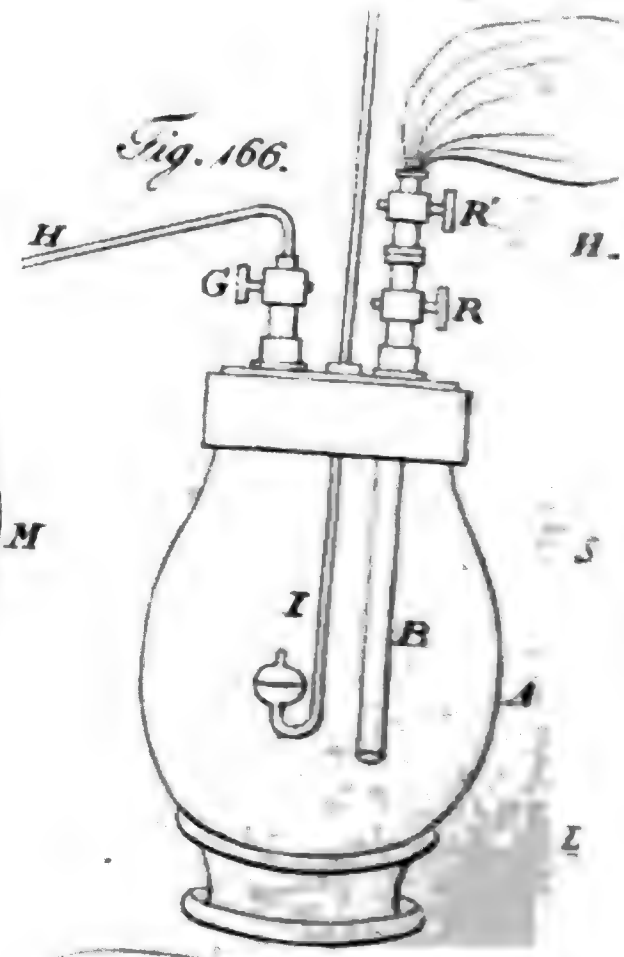
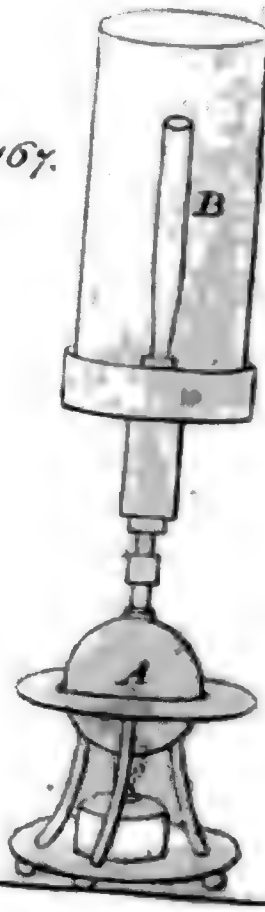


Fig. 167.



Soubert del.

Digitized by Google

Tab. IX.

Fig. 170.

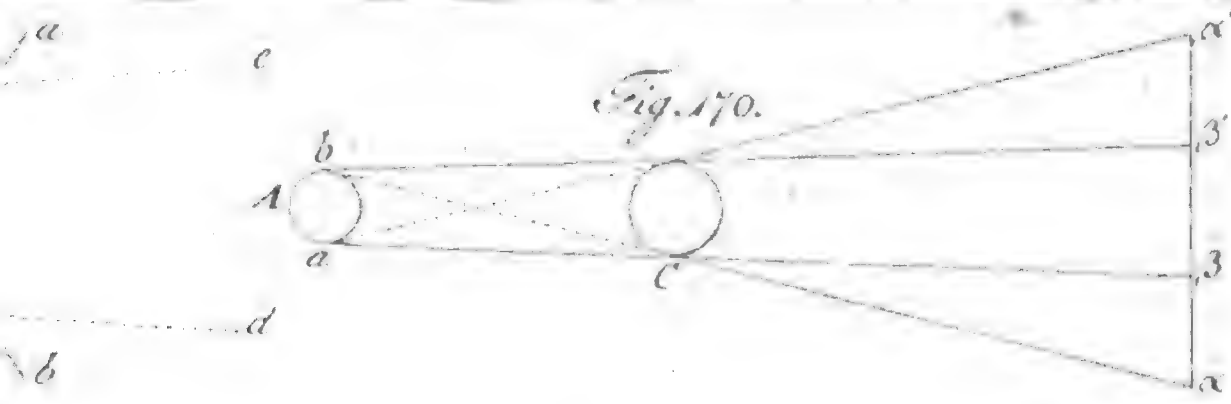


Fig. 171.

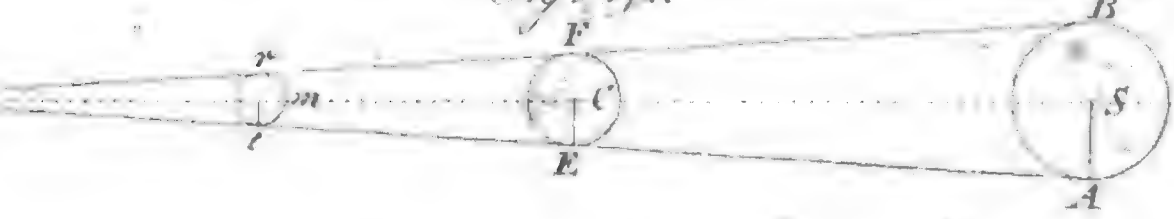


Fig. 172.

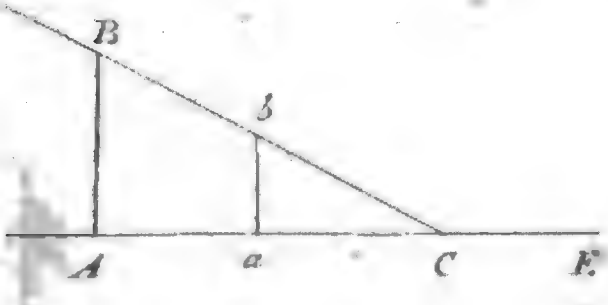


Fig. 173.

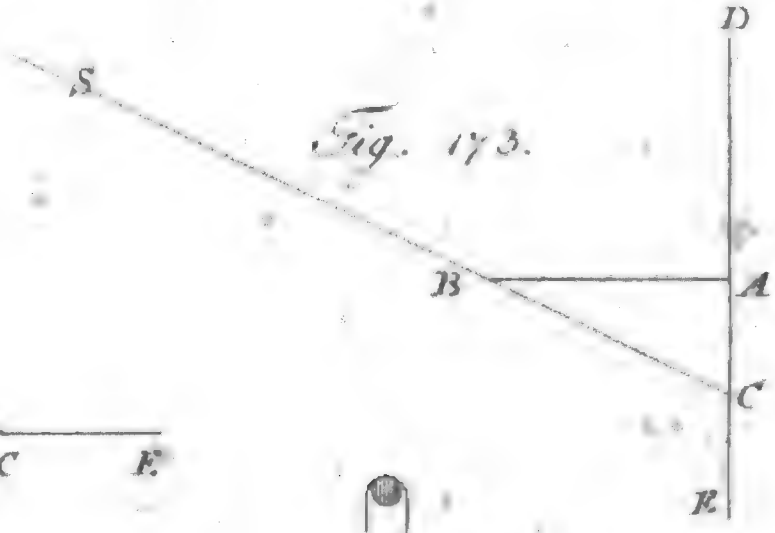


Fig. 168.

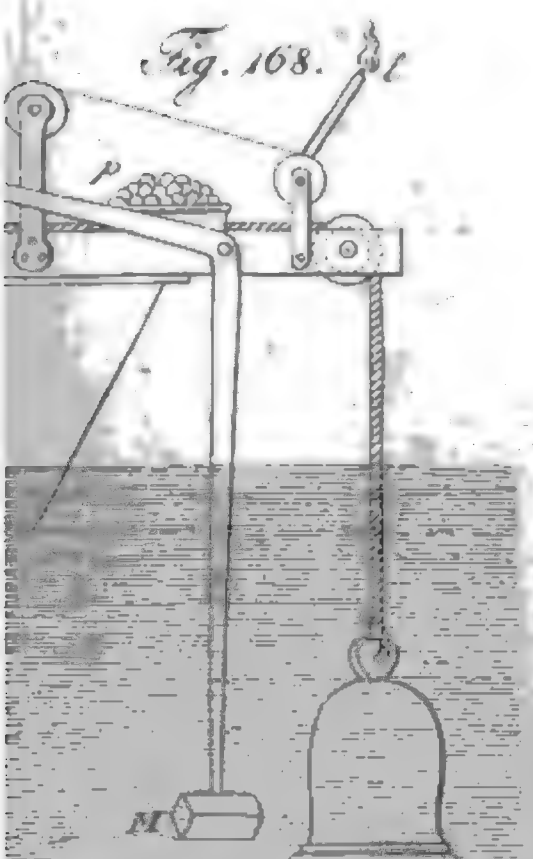
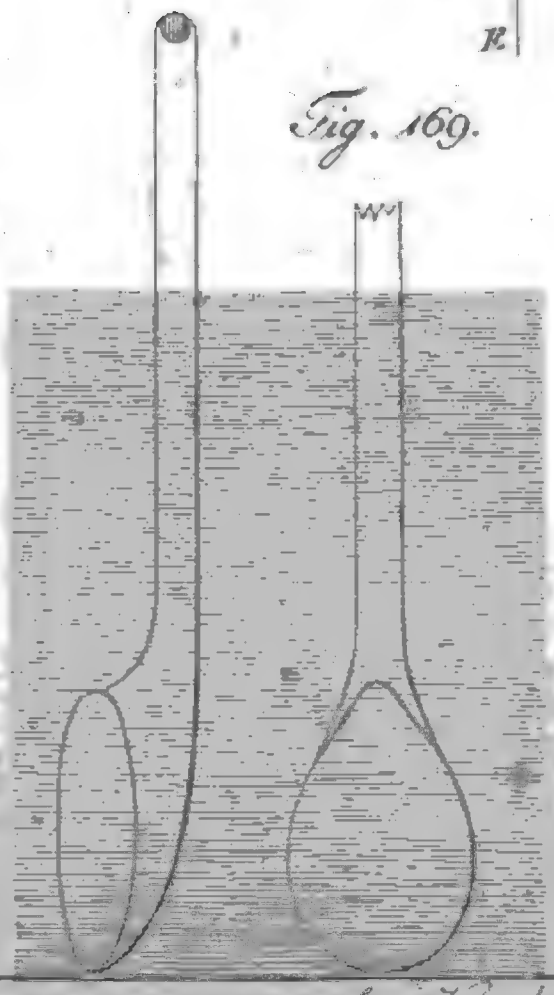


Fig. 169.



Ant. Tar cher sc.

Fig. 174. 1/20

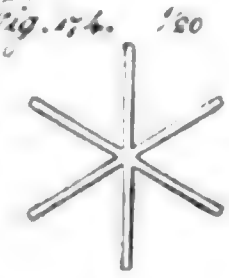


Fig. 175. 1/3

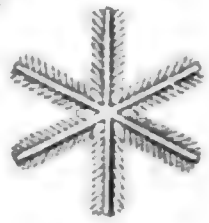


Fig. 176. 1/18

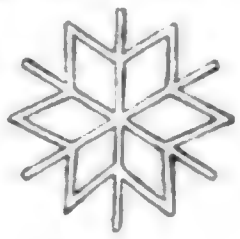


Fig. 177. 1/2

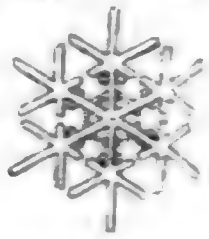


Fig. 182. 1/20

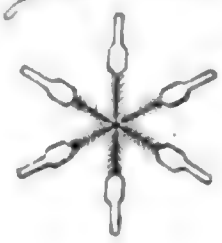


Fig. 183. 1/10

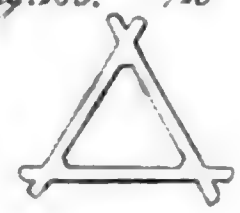


Fig. 184. 1/15

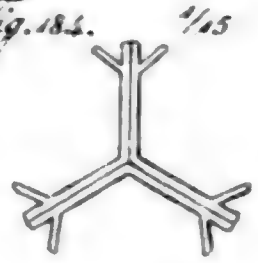


Fig. 185. 1/6

Fig. 190. 1/20

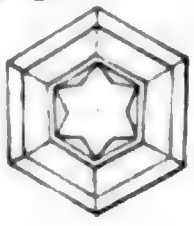


Fig. 191. 1/30

Fig. 192. 1/30

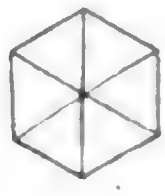


Fig. 193. 1/30

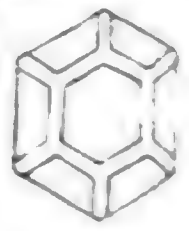


Fig. 198. 1/15

Fig. 199. 1/10

Fig. 200. 1/3

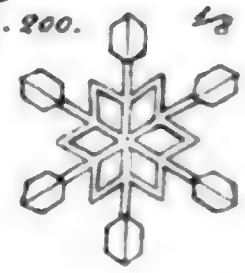


Fig. 201. 1/10

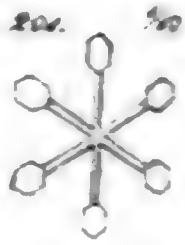


Fig. 206. 1/20

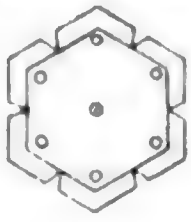


Fig. 207. 1/10

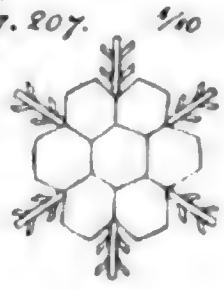


Fig. 208. 1/3

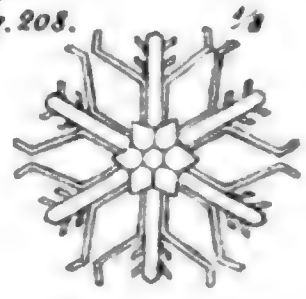


Fig. 209. 1/2

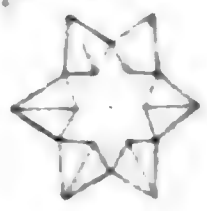


Fig. 214. 1/30

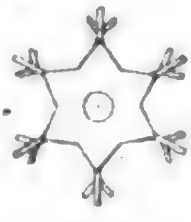


Fig. 215. 1/20

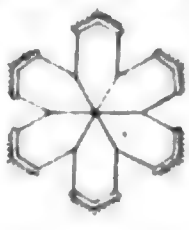


Fig. 216. 1/20

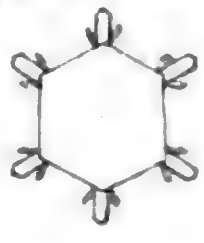
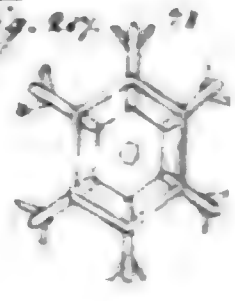


Fig. 217. 1/1



Seybert del.

Digitized by Google

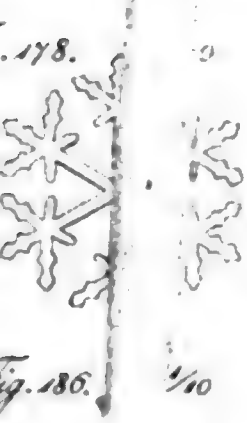


Fig. 179. 1/15

Fig. 180. 1/35

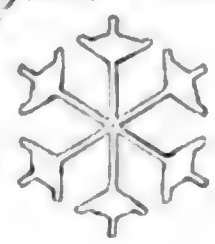


Fig. 181. 1/10

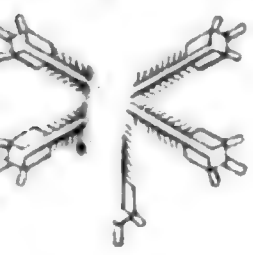


Fig. 187. 1/20

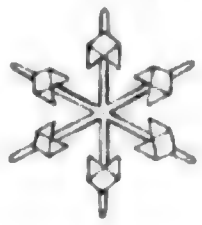


Fig. 188. 1/20

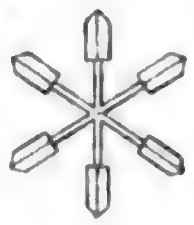


Fig. 189. 1/30

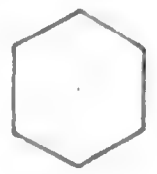


Fig. 193. 1/10

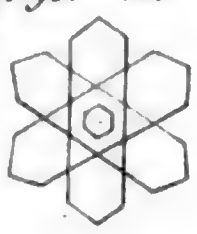


Fig. 196. 1/15

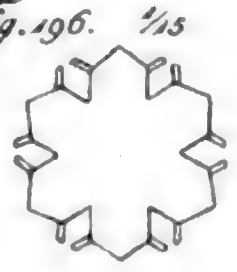


Fig. 197. 1/20

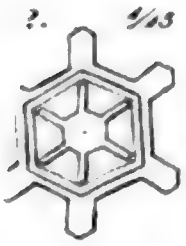


Fig. 203. 1/15

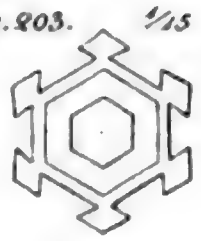


Fig. 204. 1/30

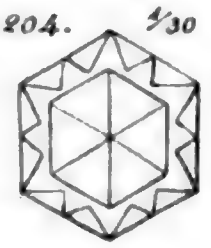
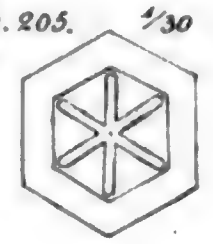


Fig. 205. 1/30



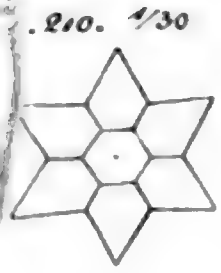


Fig. 211. 1/8

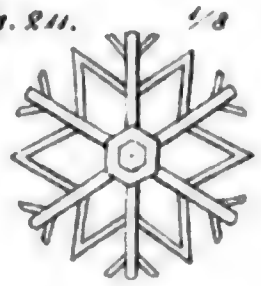


Fig. 212. 1/40

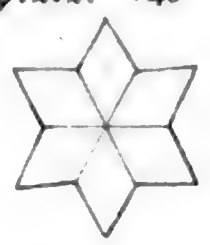
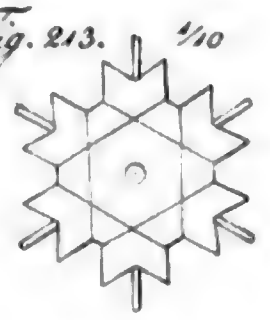


Fig. 213. 1/10



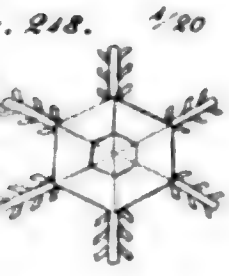


Fig. 219. 1/15

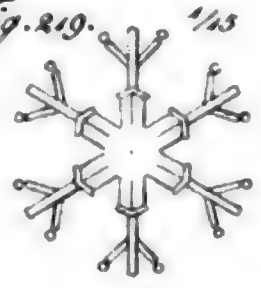


Fig. 220. 1/20

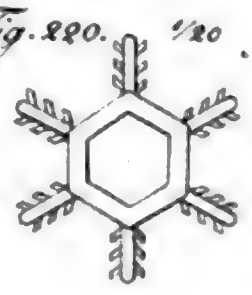
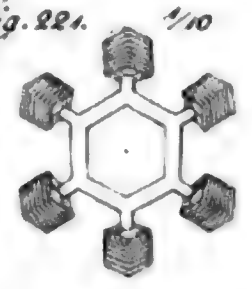


Fig. 221. 1/10



Ant. Karcher sc.

Fig. 222. 1/8

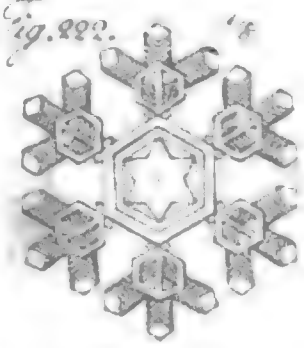


Fig. 223. 1/8

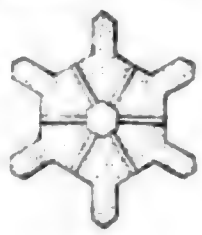


Fig. 224. 1/8

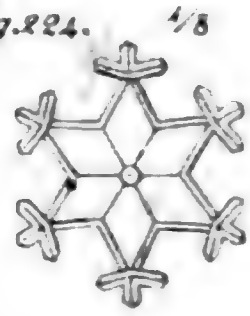


Fig. 225. 1/8

Fig. 230. 1/10

Fig. 231. 1/10

Fig. 232. 1/8

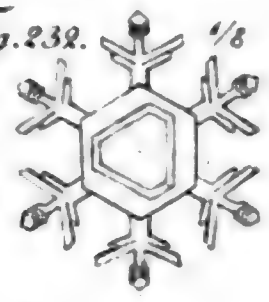


Fig. 233. 1/10

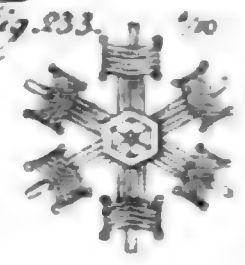


Fig. 238. 1/20

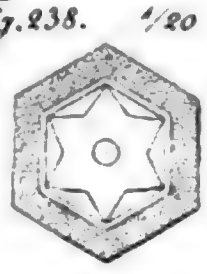


Fig. 239. 1/10

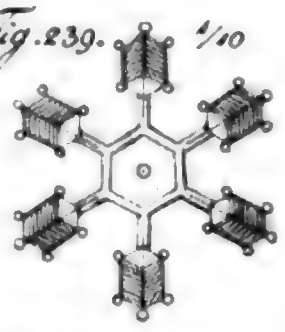


Fig. 240. 1/8

Fig. 241. 1/30

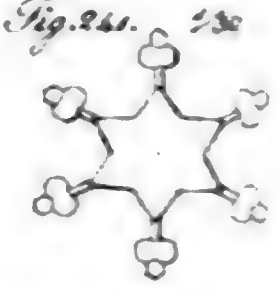


Fig. 246. 1/13

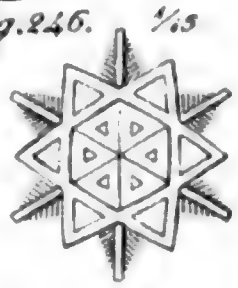


Fig. 247. 1/20

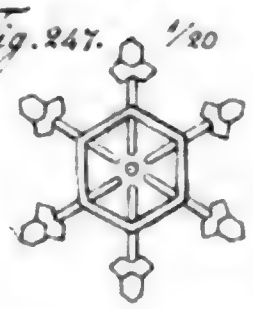


Fig. 248. 1/20

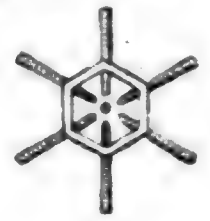


Fig. 249. 1/13

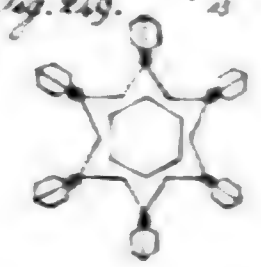


Fig. 254. 1/10

Fig. 255. 1/10

Fig. 256. 1/13

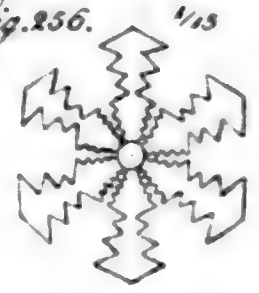


Fig. 257. 1/20

Fig. 262. 1/30

Fig. 263. 1/20

Fig. 264. 1/20

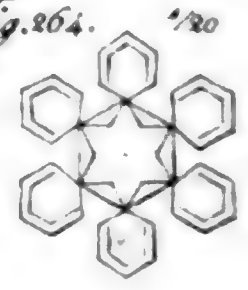
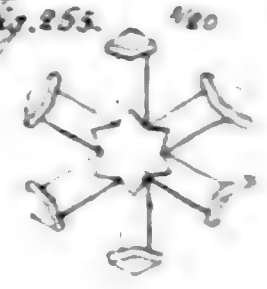


Fig. 255. 1/20



Seybert del.

Digitized by Google

Fig. 226. 1/8

Fig. 227. 1/8

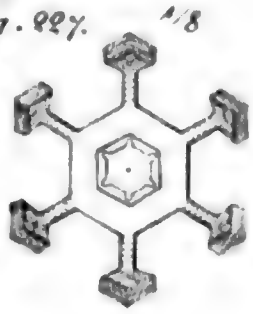


Fig. 228. 1/10

Fig. 229. 1/8

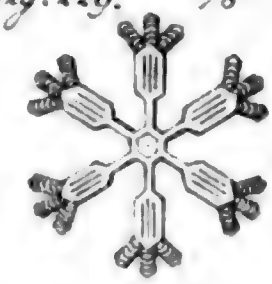


Fig. 234. 1/8

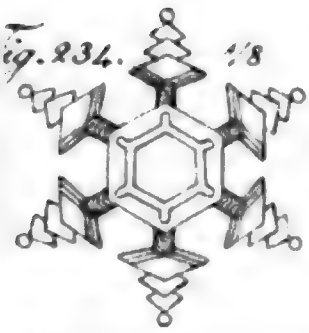


Fig. 235. 1/15

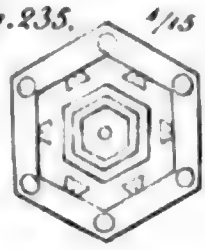


Fig. 236. 1/6

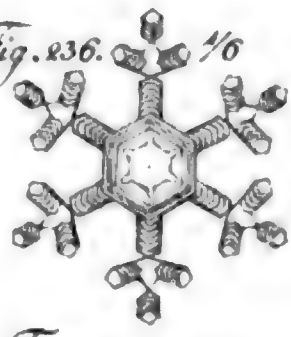


Fig. 237. 1/10

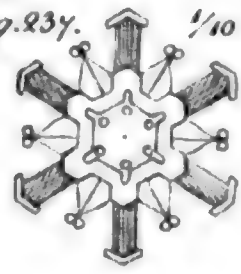


Fig. 242. 1/25

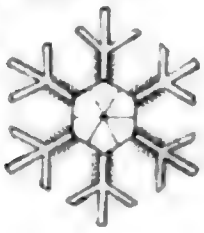


Fig. 243. 1/15

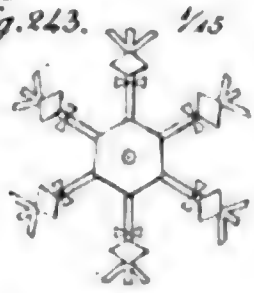


Fig. 244. 1/10

Fig. 245. 1/15

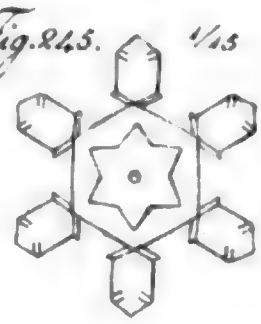


Fig. 250. 1/25

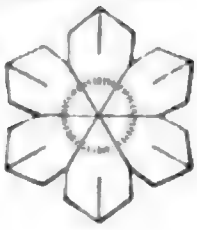


Fig. 251. 1/10

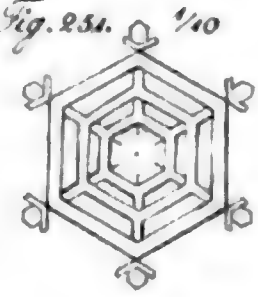


Fig. 252. 1/15

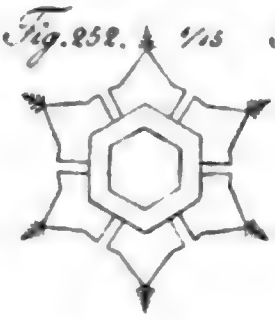


Fig. 253. 1/10

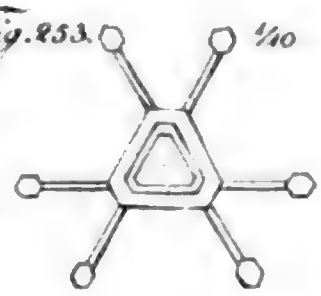


Fig. 258. 1/6

Fig. 259. 1/10

Fig. 260. 1/10

Fig. 261. 1/30

Fig. 266. 1/20

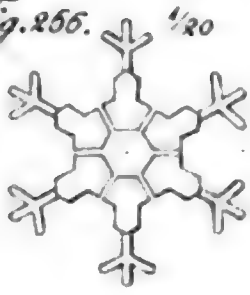


Fig. 267. 1/15

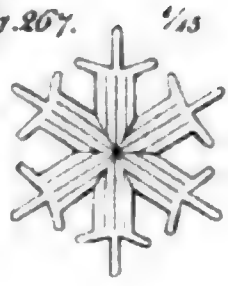


Fig. 268. 1/10

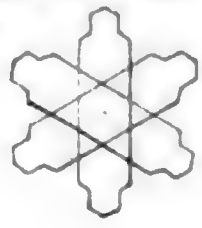


Fig. 269. 1/15

Ant. Karcher sc.

Digitized by Google

ized by Goo

Fig. 174. 1/30

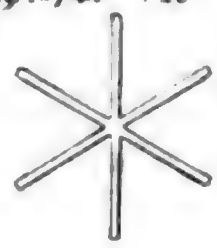


Fig. 175. 1/3

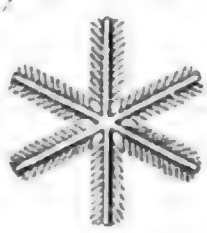


Fig. 176. 1/12

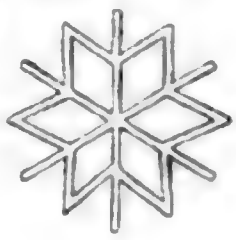


Fig. 177. 1/5

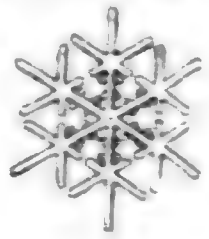


Fig. 182. 1/20

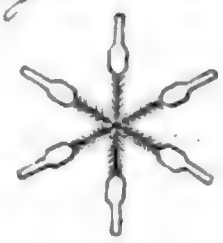


Fig. 183. 1/10

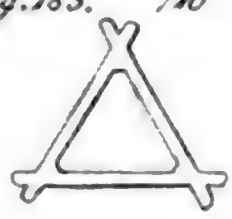


Fig. 184. 1/15

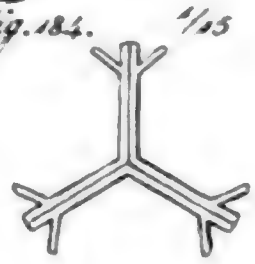


Fig. 185. 1/67

Fig. 190. 1/20

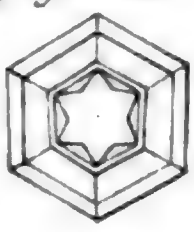


Fig. 191. 1/30

Fig. 192. 1/30

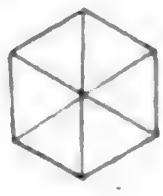


Fig. 193. 1/35

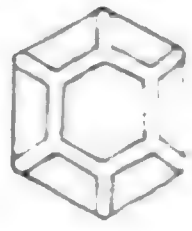


Fig. 198. 1/15

Fig. 199. 1/10

Fig. 200. 1/3

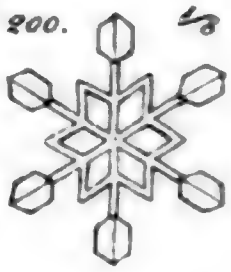


Fig. 201. 1/10

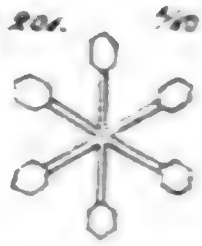


Fig. 206. 1/20

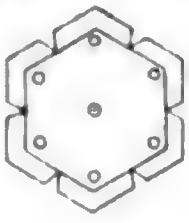


Fig. 207. 1/10

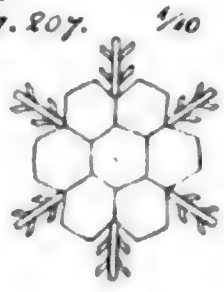


Fig. 208. 1/8

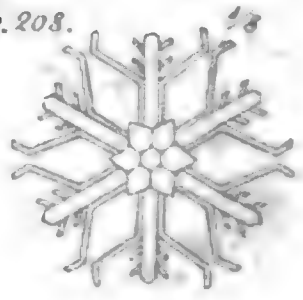


Fig. 209. 1/2

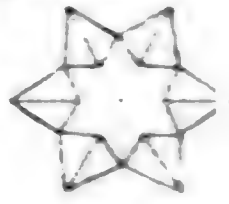


Fig. 214. 1/30

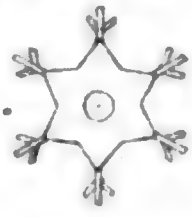


Fig. 215. 1/20

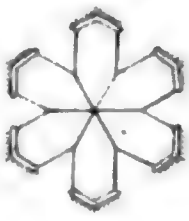


Fig. 216. 1/20

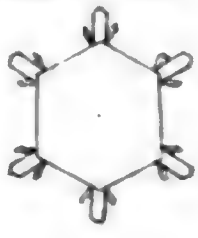
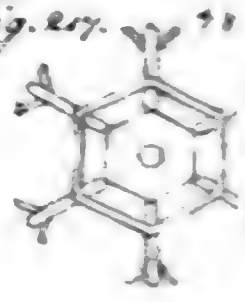


Fig. 217. 1/1



Seybert del.

Digitized by Google

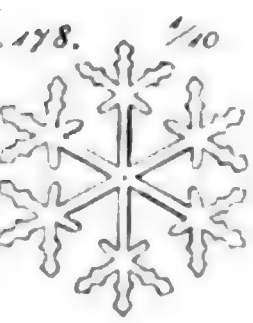


Fig. 178. 1/10

Fig. 179. 1/15

Fig. 180. 1/35

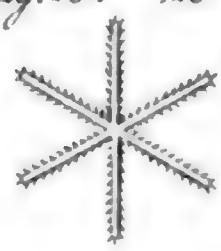


Fig. 181. 1/10

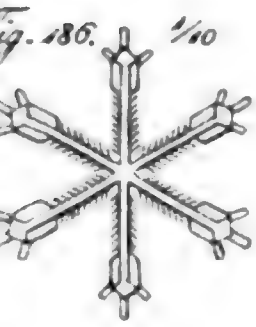


Fig. 186. 1/10

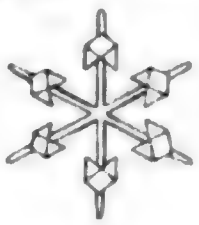


Fig. 187. 1/20

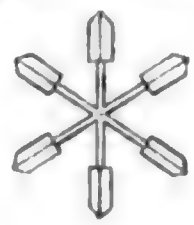


Fig. 188. 1/20

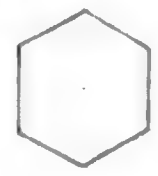


Fig. 189. 1/30

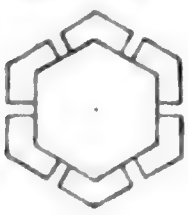


Fig. 194. 1/10

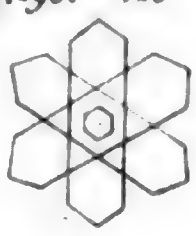


Fig. 193. 1/10

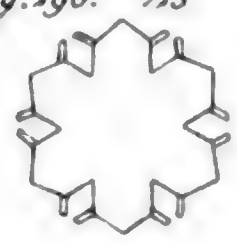


Fig. 196. 1/15

Fig. 197. 1/20

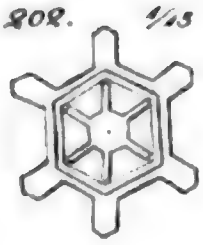


Fig. 202. 1/15

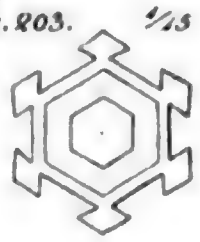


Fig. 203. 1/15

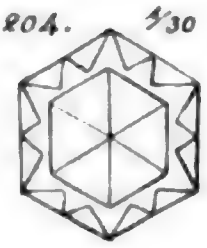


Fig. 204. 1/30

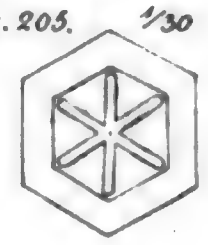


Fig. 205. 1/30

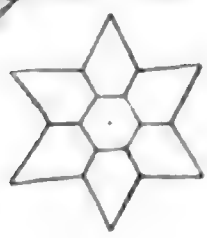


Fig. 210. 1/30

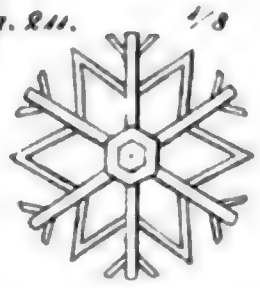


Fig. 211. 1/8

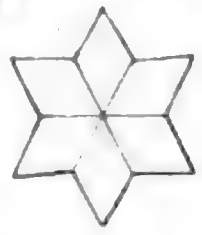


Fig. 212. 1/40

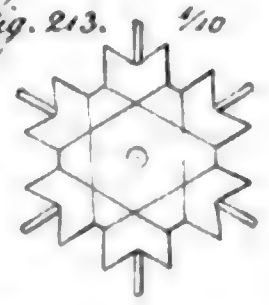


Fig. 213. 1/10

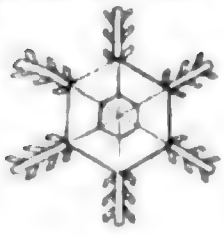


Fig. 218. 1/20

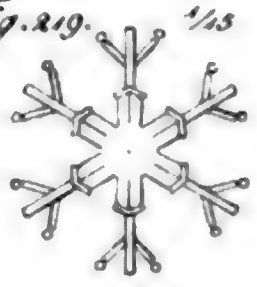


Fig. 219. 1/15

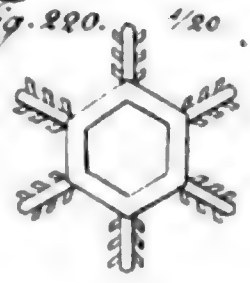


Fig. 220. 1/20

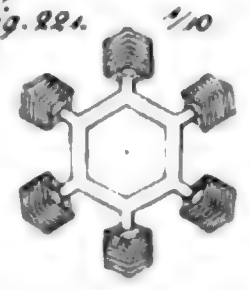


Fig. 221. 1/10

Ant. Karcher sc.

Digitized by Google

Fig. 222. 1/8

Fig. 223. 1/8

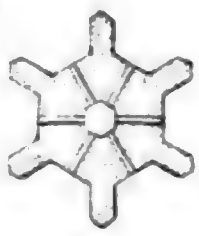


Fig. 224. 1/8

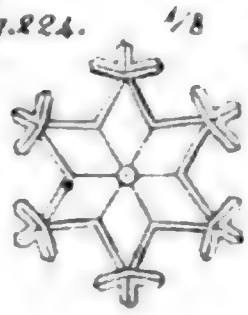


Fig. 225. 1/8

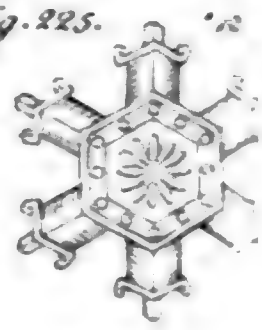


Fig. 230. 1/10

Fig. 231. 1/10

Fig. 232. 1/8

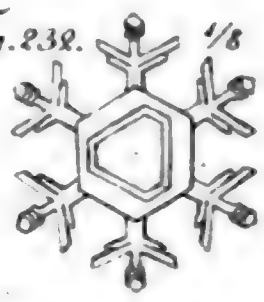


Fig. 233. 1/10

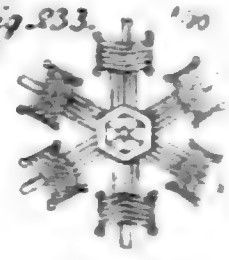


Fig. 238. 1/20

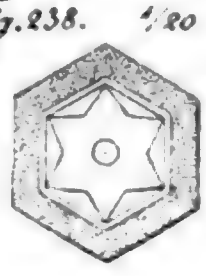


Fig. 239. 1/10

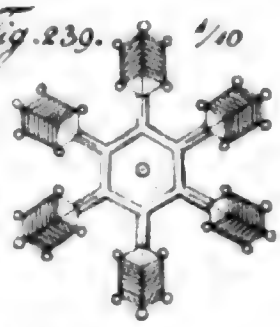


Fig. 240. 1/8

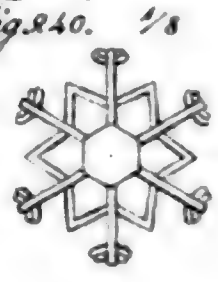


Fig. 241. 1/30

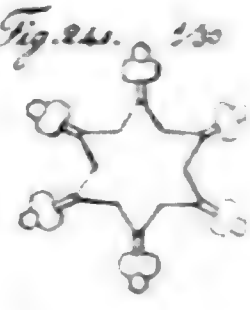


Fig. 246. 1/15

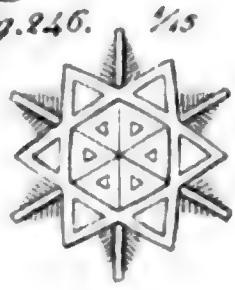


Fig. 247. 1/20

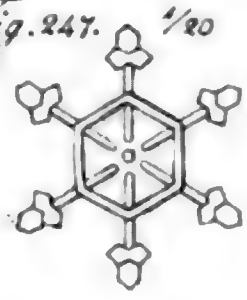


Fig. 248. 1/20

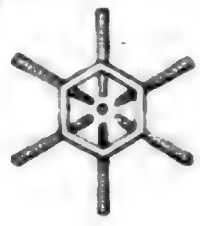


Fig. 249. 1/15

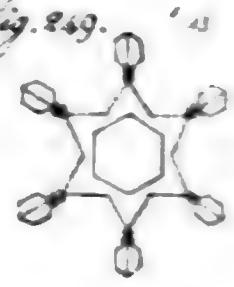


Fig. 254. 1/10

Fig. 255. 1/10

Fig. 256. 1/15

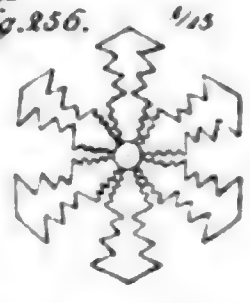


Fig. 257. 1/20

Fig. 262. 1/30

Fig. 263. 1/20

Fig. 264. 1/20

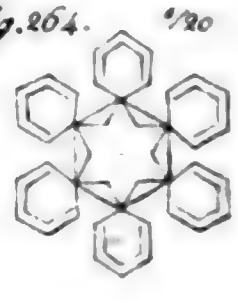
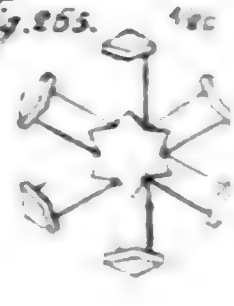


Fig. 265. 1/20



Seybert del.

Digitized by Google

Tab. XI.

Fig. 226. 1/8

Fig. 227. 1/8

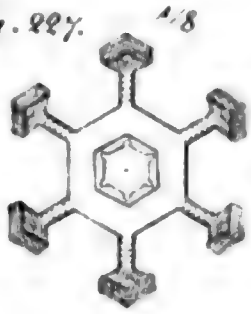


Fig. 228. 1/10

Fig. 229. 1/8

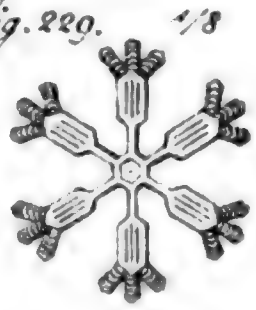


Fig. 234. 1/8

Fig. 235. 1/15

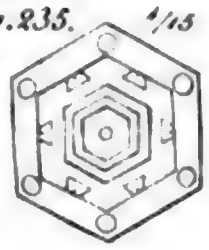


Fig. 236. 1/6

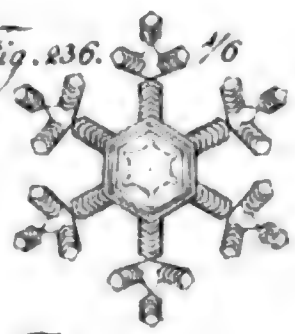


Fig. 237. 1/10

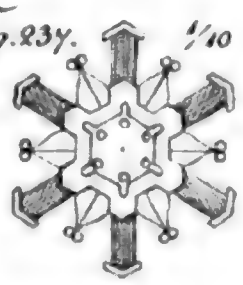


Fig. 242. 1/25

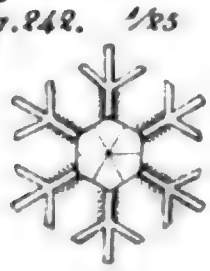


Fig. 243. 1/15

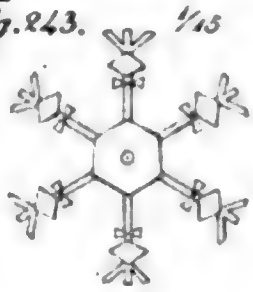


Fig. 244. 1/10

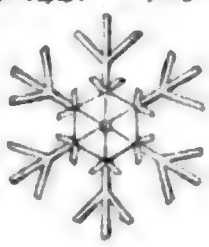


Fig. 245. 1/15

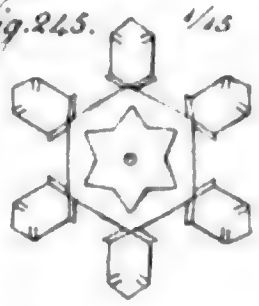


Fig. 250. 1/25

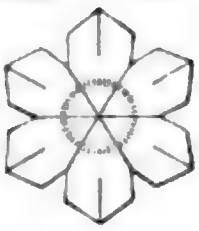


Fig. 251. 1/10

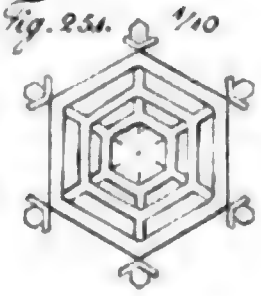


Fig. 252. 1/15

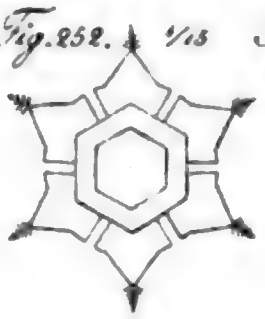


Fig. 253. 1/10

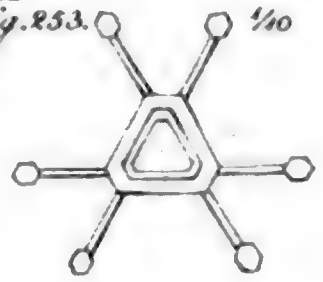


Fig. 258. 1/6

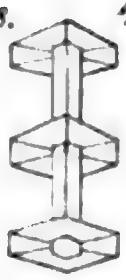


Fig. 259. 1/10

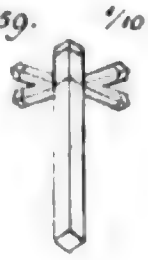


Fig. 260. 1/10

Fig. 261. 1/30

Fig. 266. 1/20

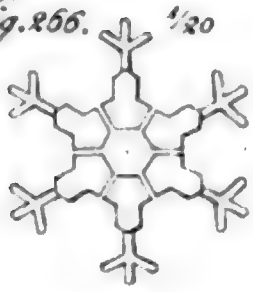


Fig. 267. 1/15

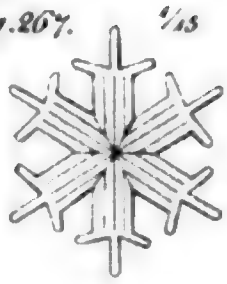


Fig. 268. 1/10

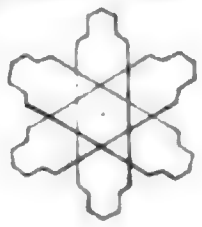


Fig. 269. 1/15

Art. Karcher sc.

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 270.

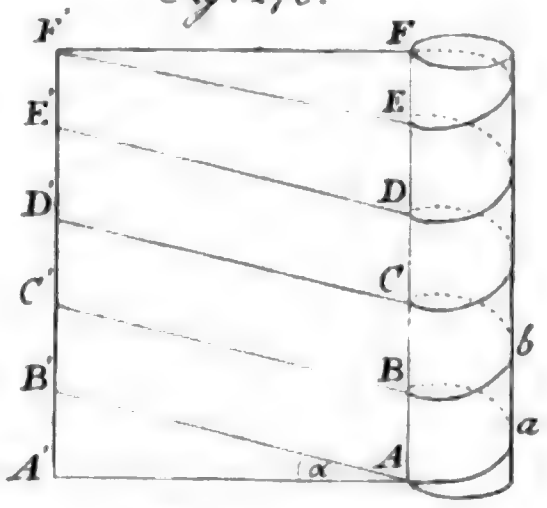


Fig. 271.

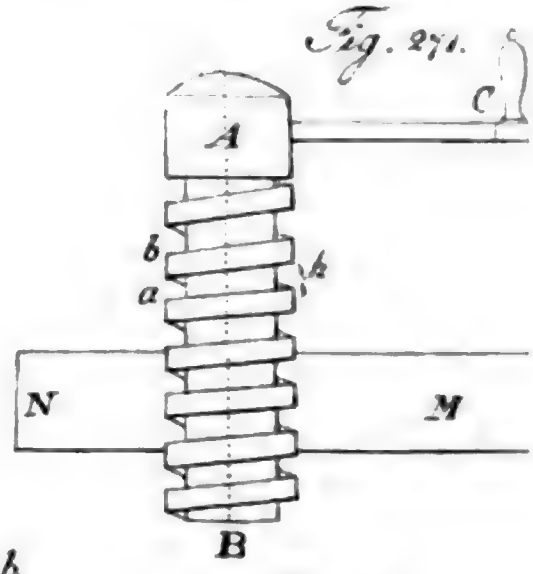


Fig. 274.

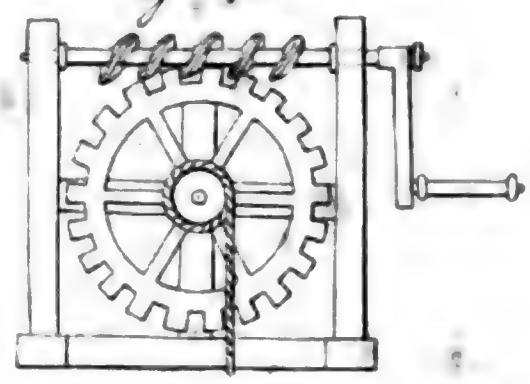


Fig. 280.

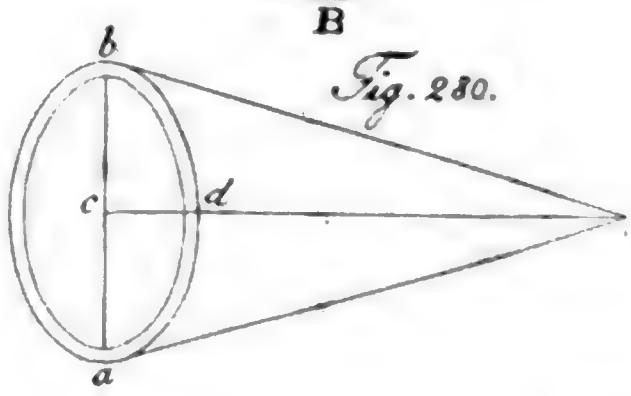


Fig. 276.

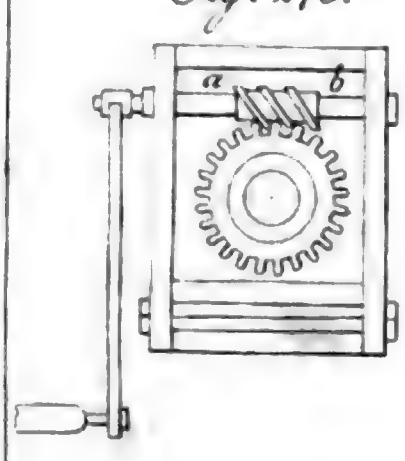
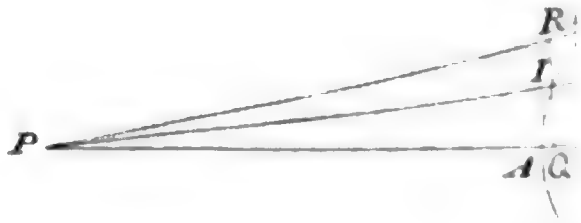


Fig. 279.



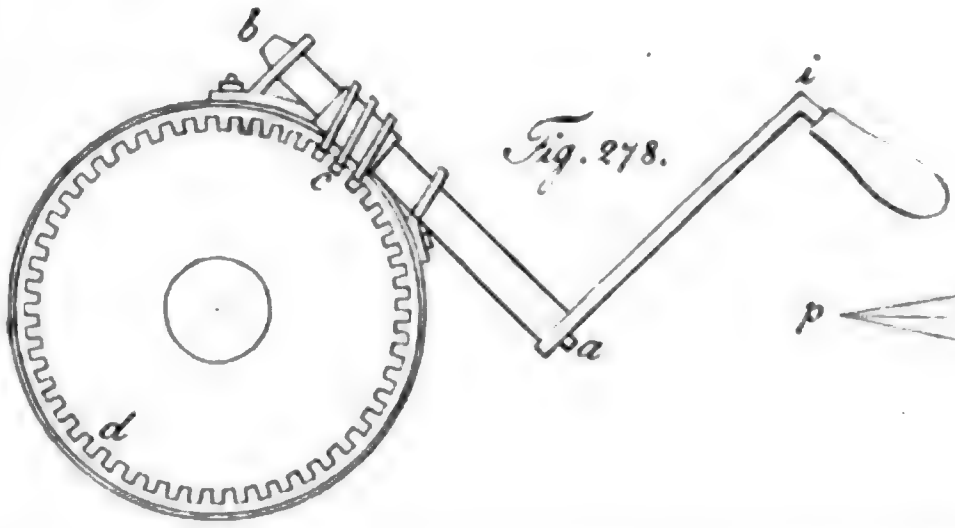


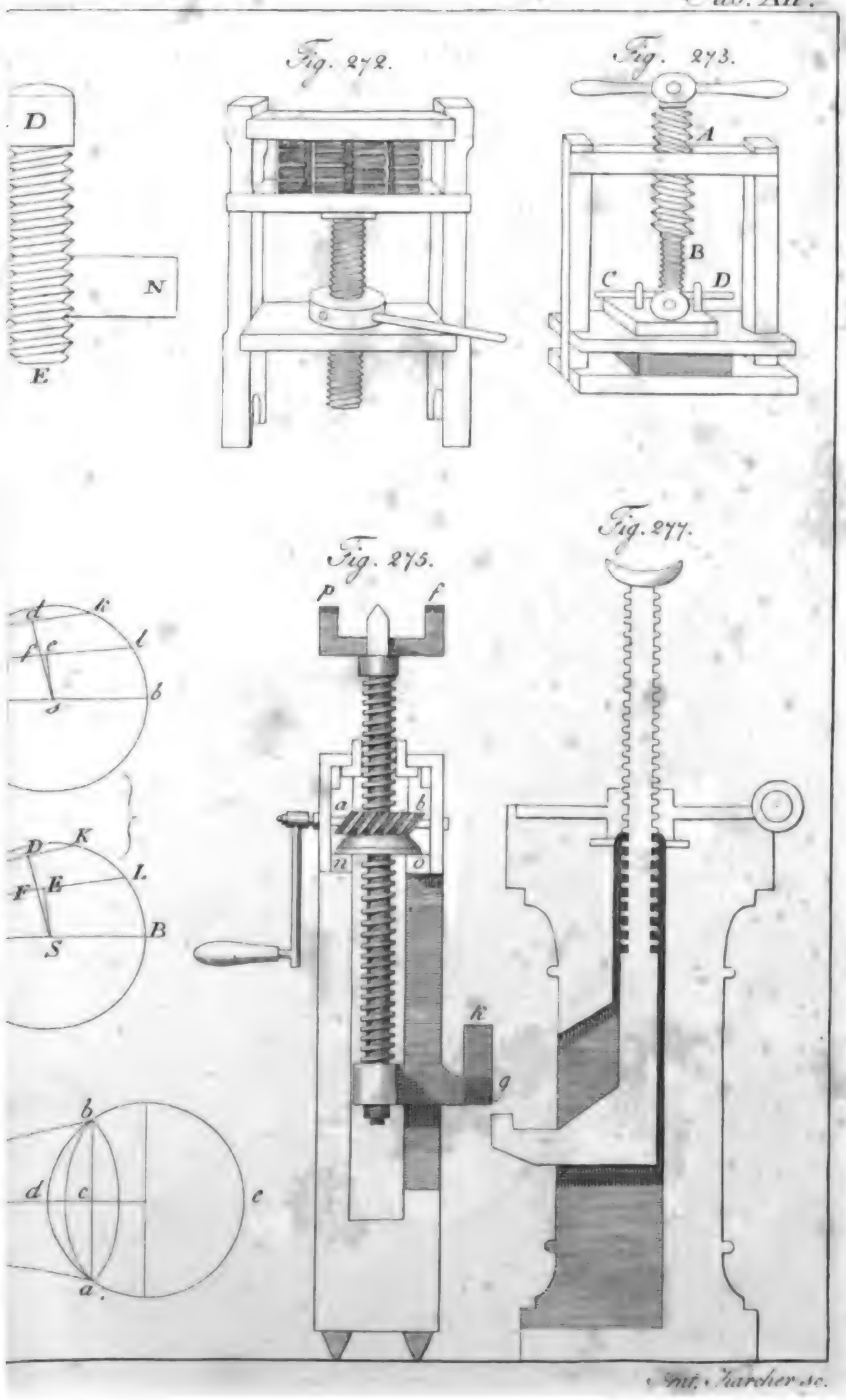
Fig. 278.

Fig. 2

Seybert del.

Digitized by Google

Tab. XII.



Ant. Karcher sc.

Digitized by Google

Digitized by Google

Pl. III.

Fig. 282.

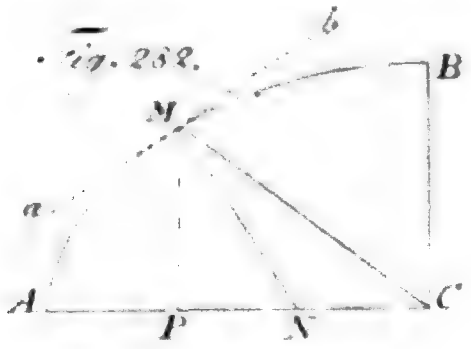


Fig. 283.

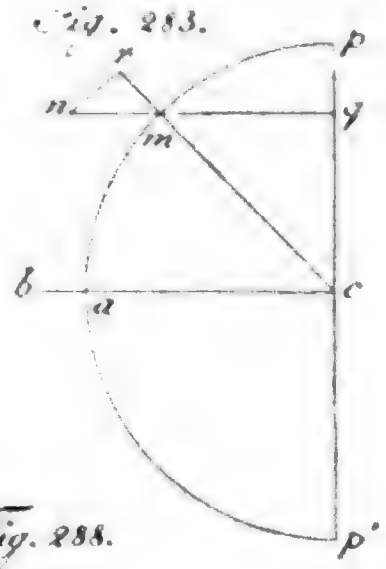


Fig. 284.

Fig. 287.

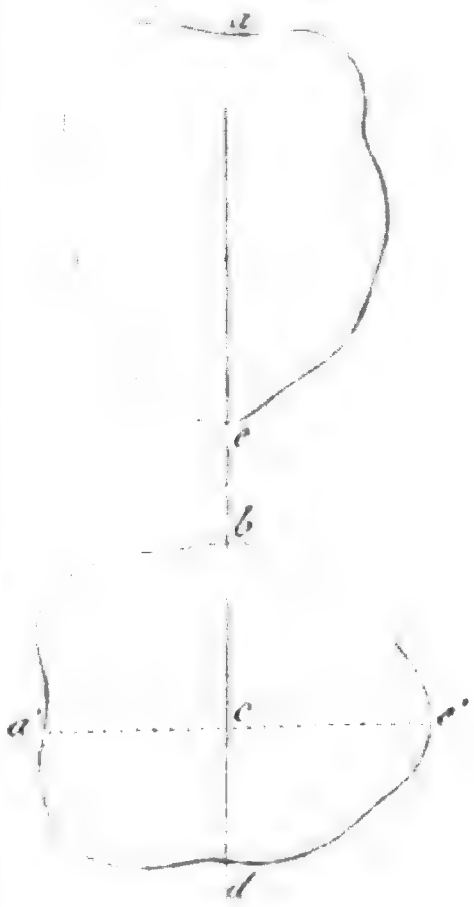


Fig. 288.

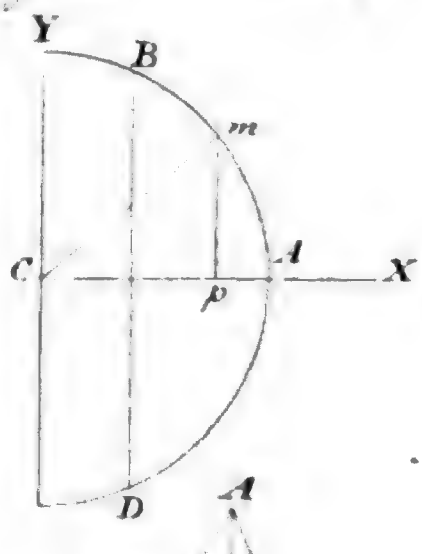


Fig. 289.

Fig. 292.

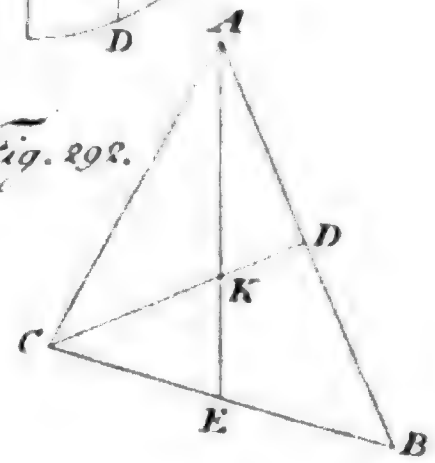


Fig. 291.

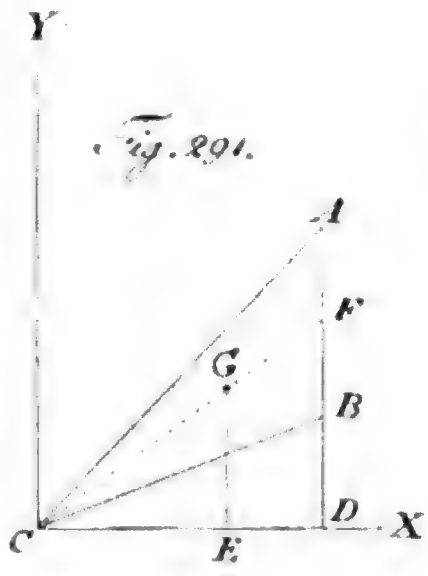


Fig. 293.

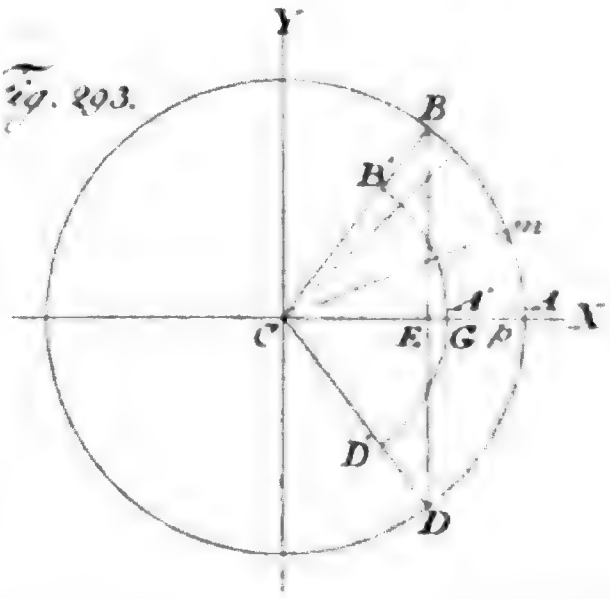


Fig. 2

C

Seybert del.

Digitized by Google

Fig. 285.

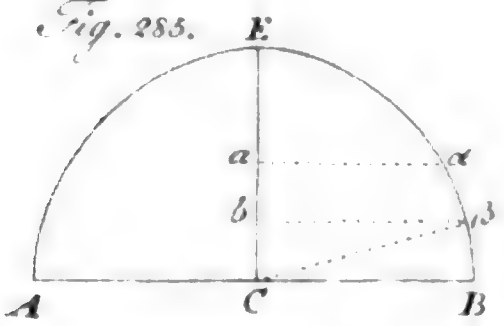
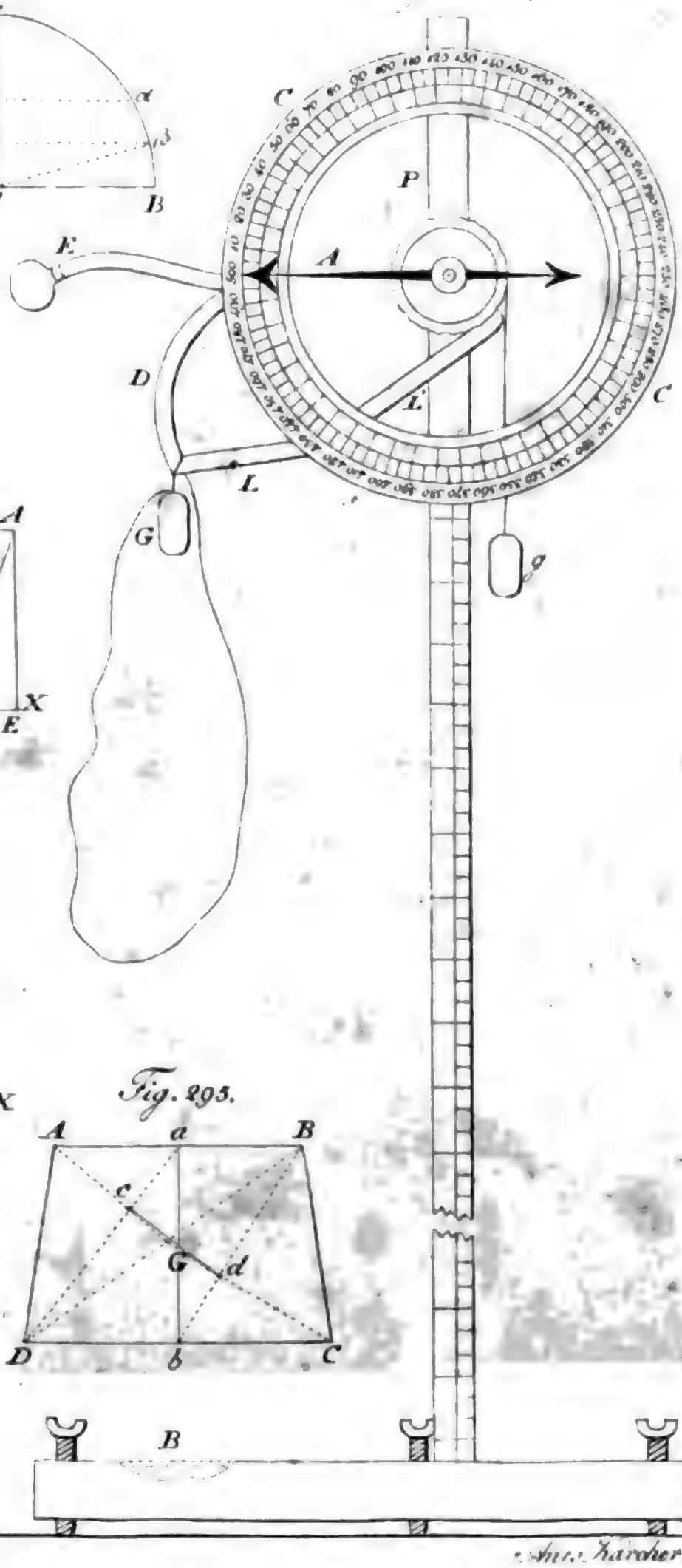


Fig. 286.



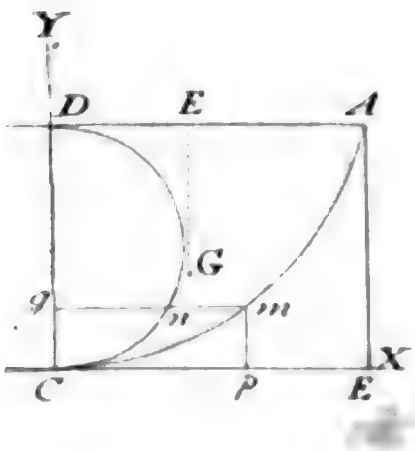


Fig. 290.

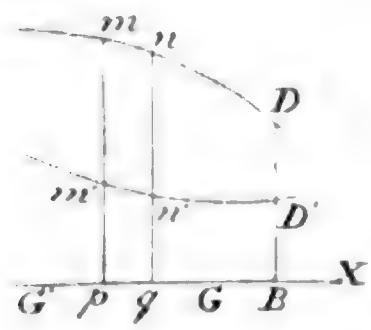
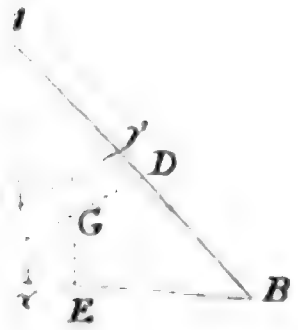


Fig. 293.



Amr. Kircher sc.

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 296.

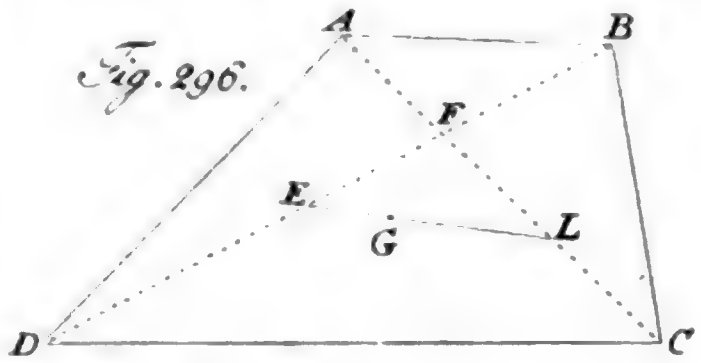
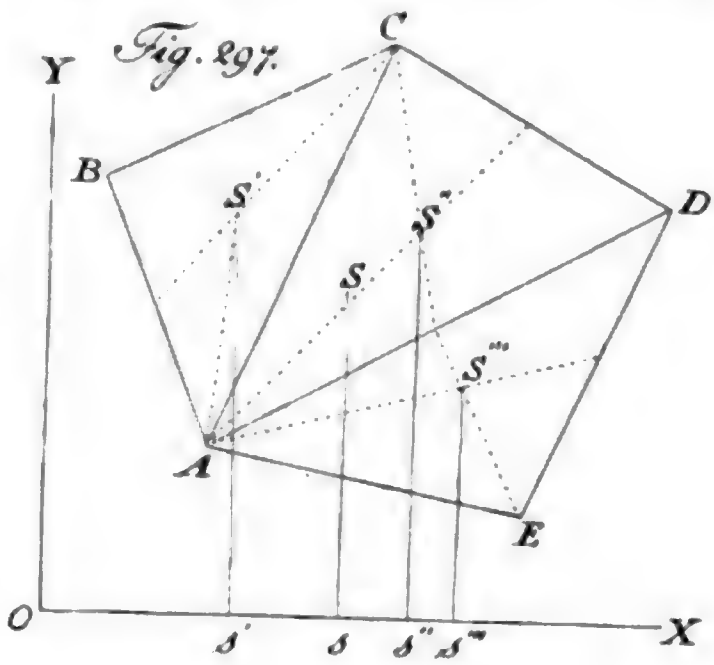


Fig. 297.



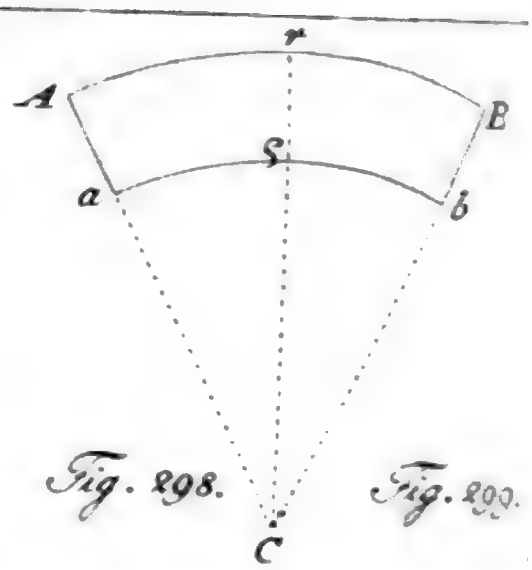


Fig. 298.

Fig. 299.

Fig. 301.

Fig. 30

Fig. 311.

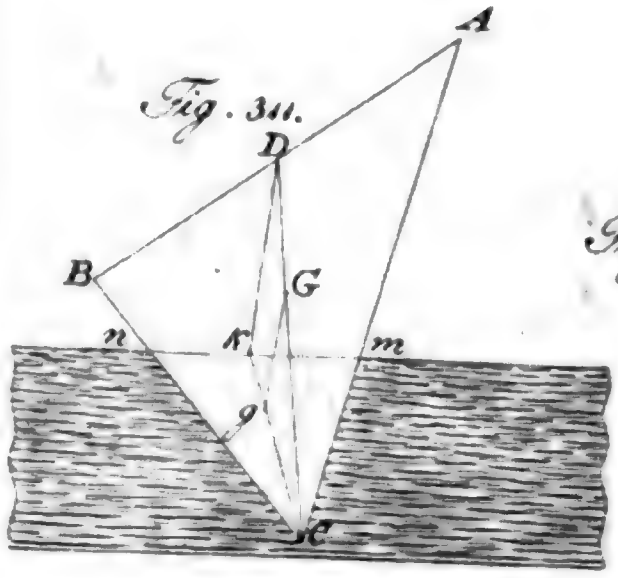


Fig. 312.

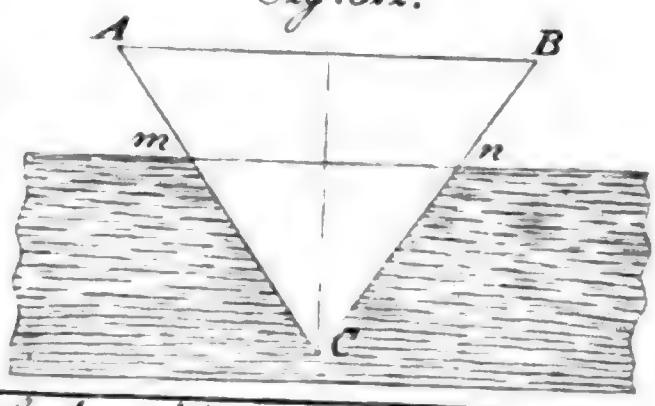
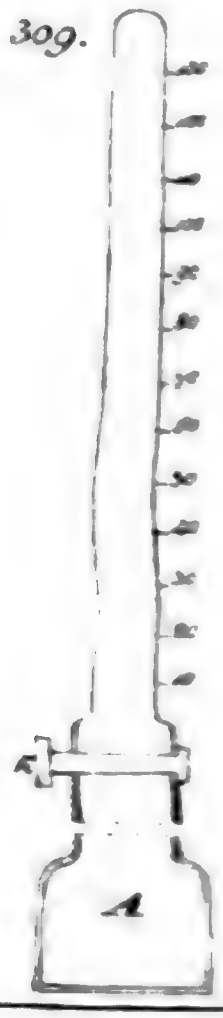


Fig. 310.

Fig. 309.



Feybert del.

Digitized by Google

Fig. 300.

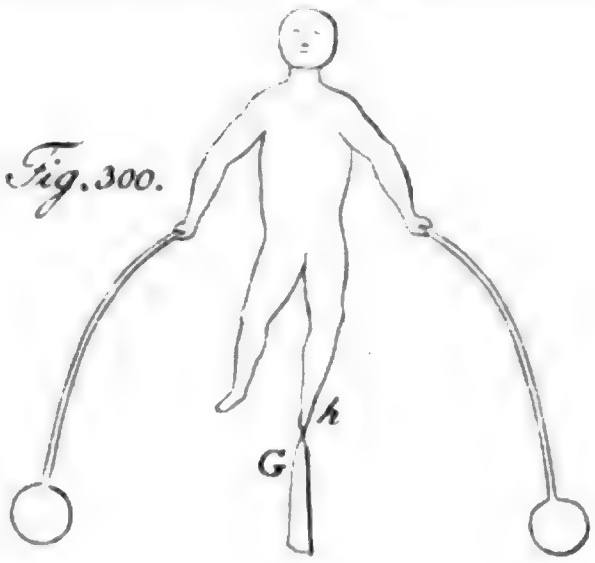
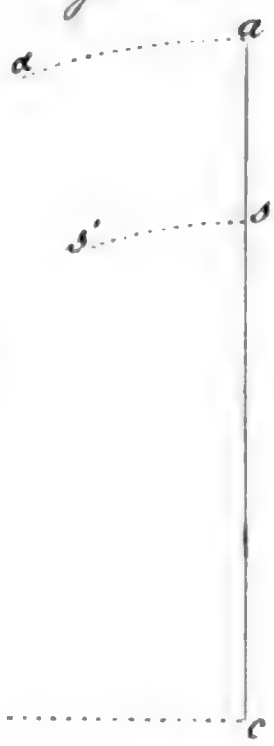


Fig. 302.



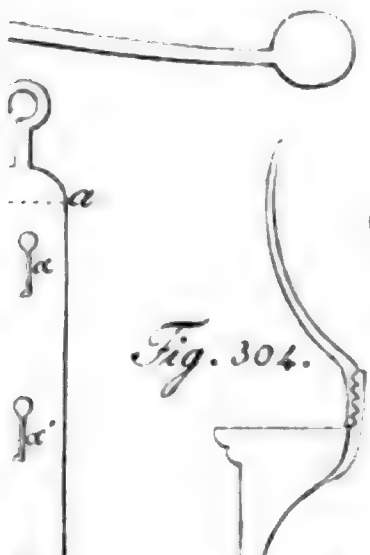


Fig. 304.

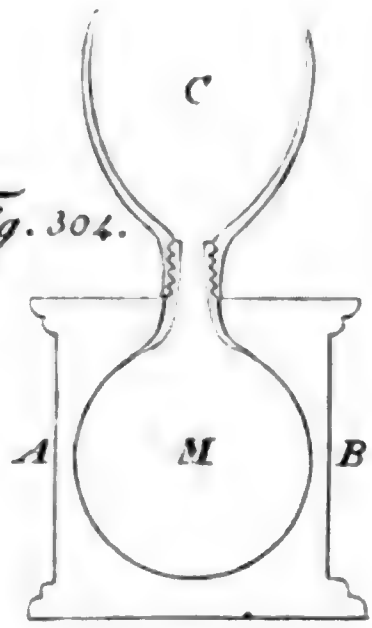
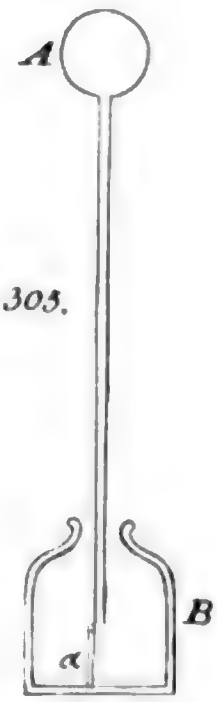


Fig. 305.



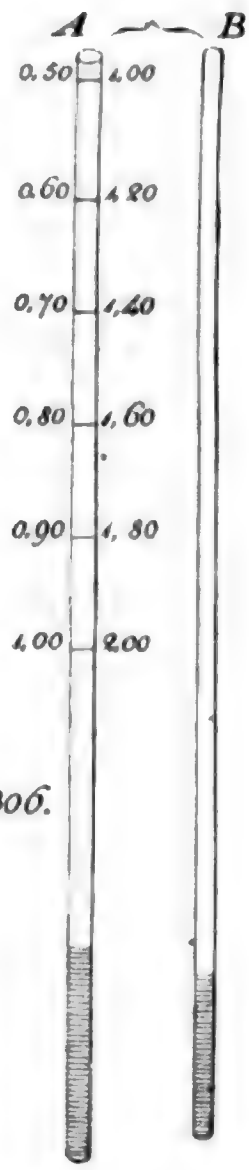


Fig. 306.

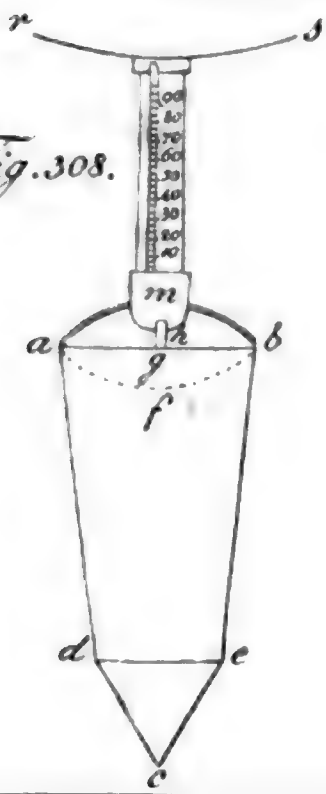
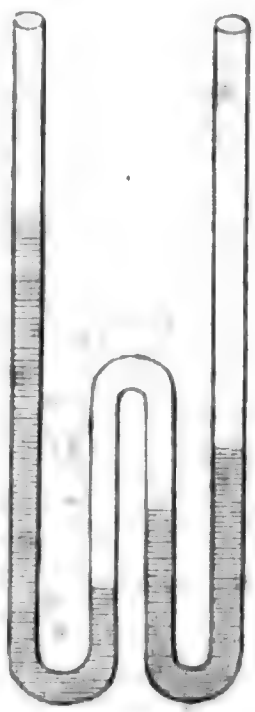


Fig. 308.

Fig. 307.



Aug. Karcher sc.

Bd. VIII.

Fig. 315.

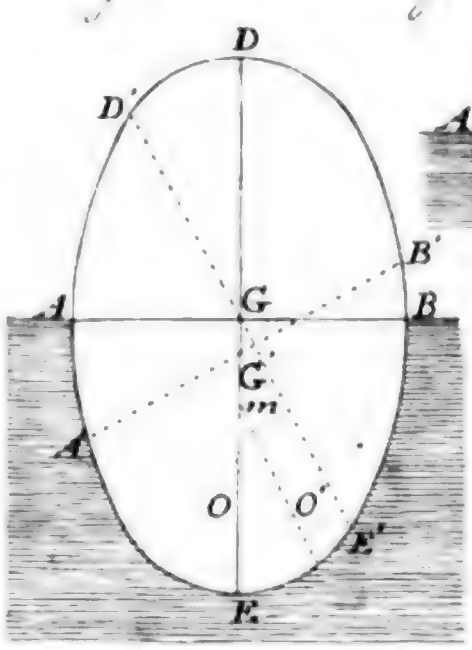
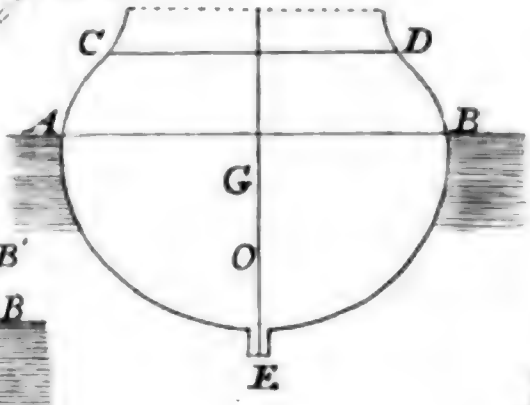


Fig. 313.



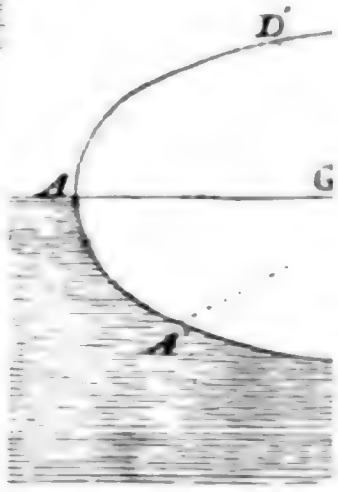
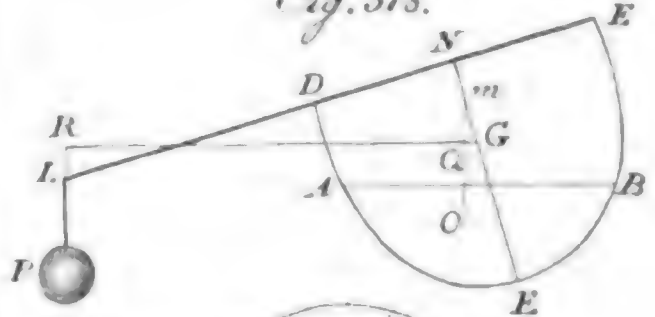


Fig. 318.



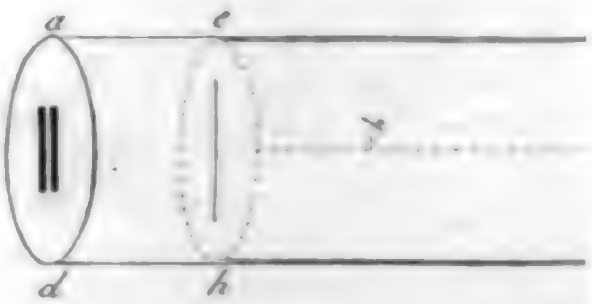


Fig. 320.

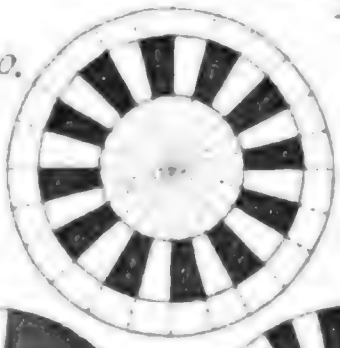
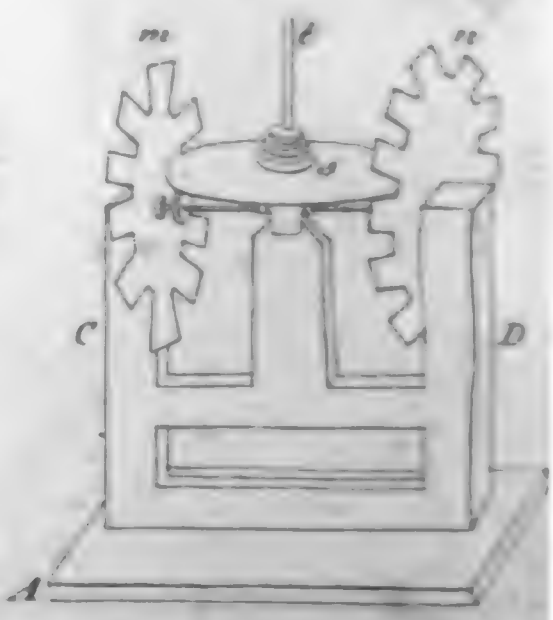


Fig. 323.



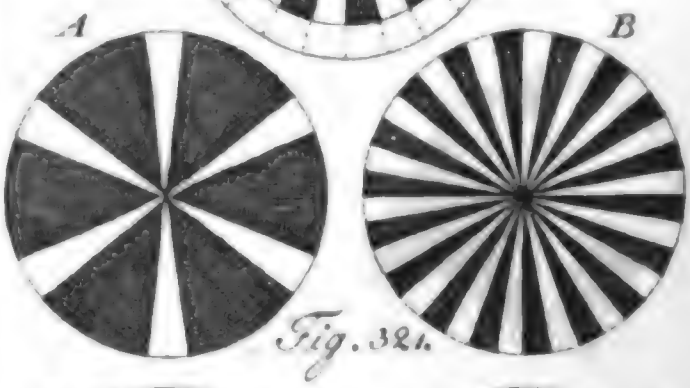


Fig. 321.

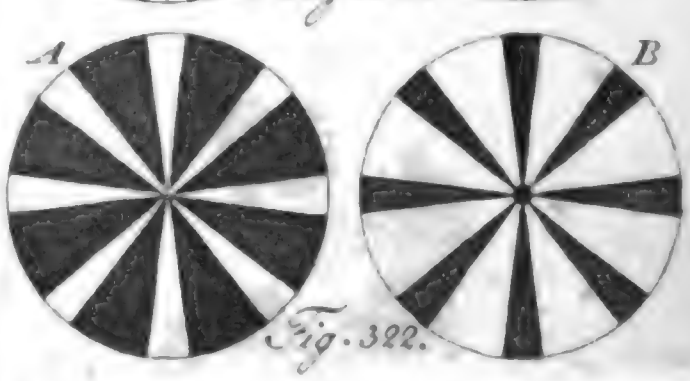


Fig. 322.

Joybert del.

Digitized by Google

Fig. 314.

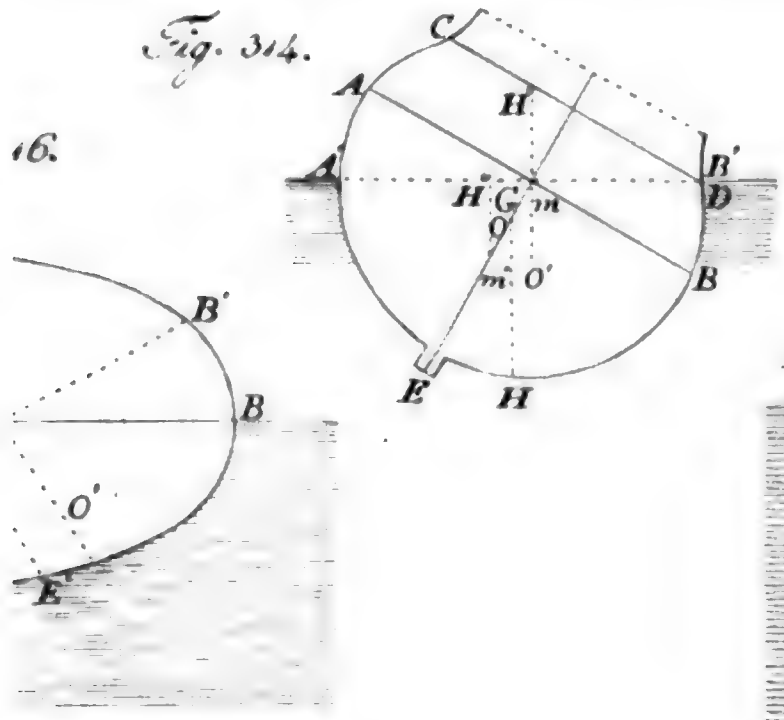


Fig. 317.

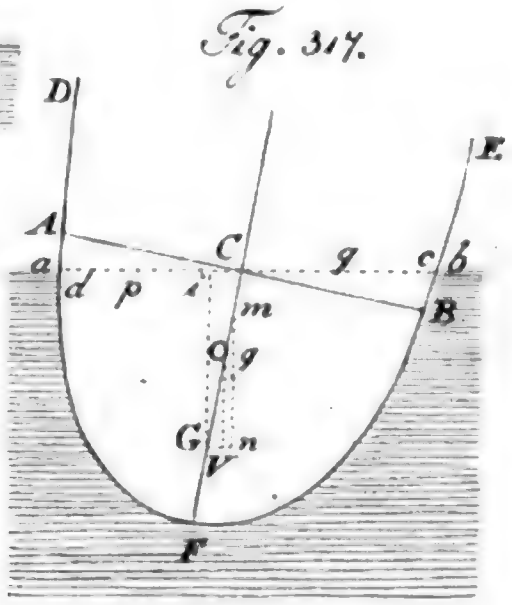
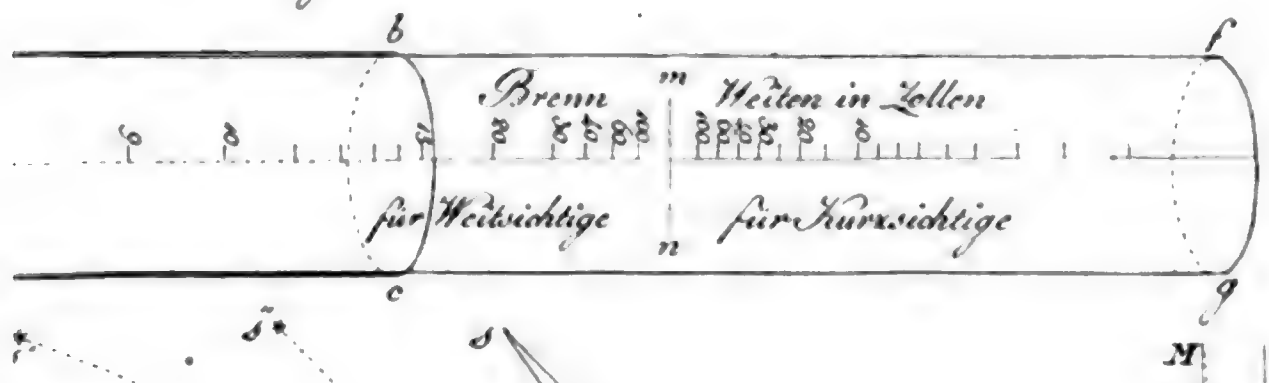
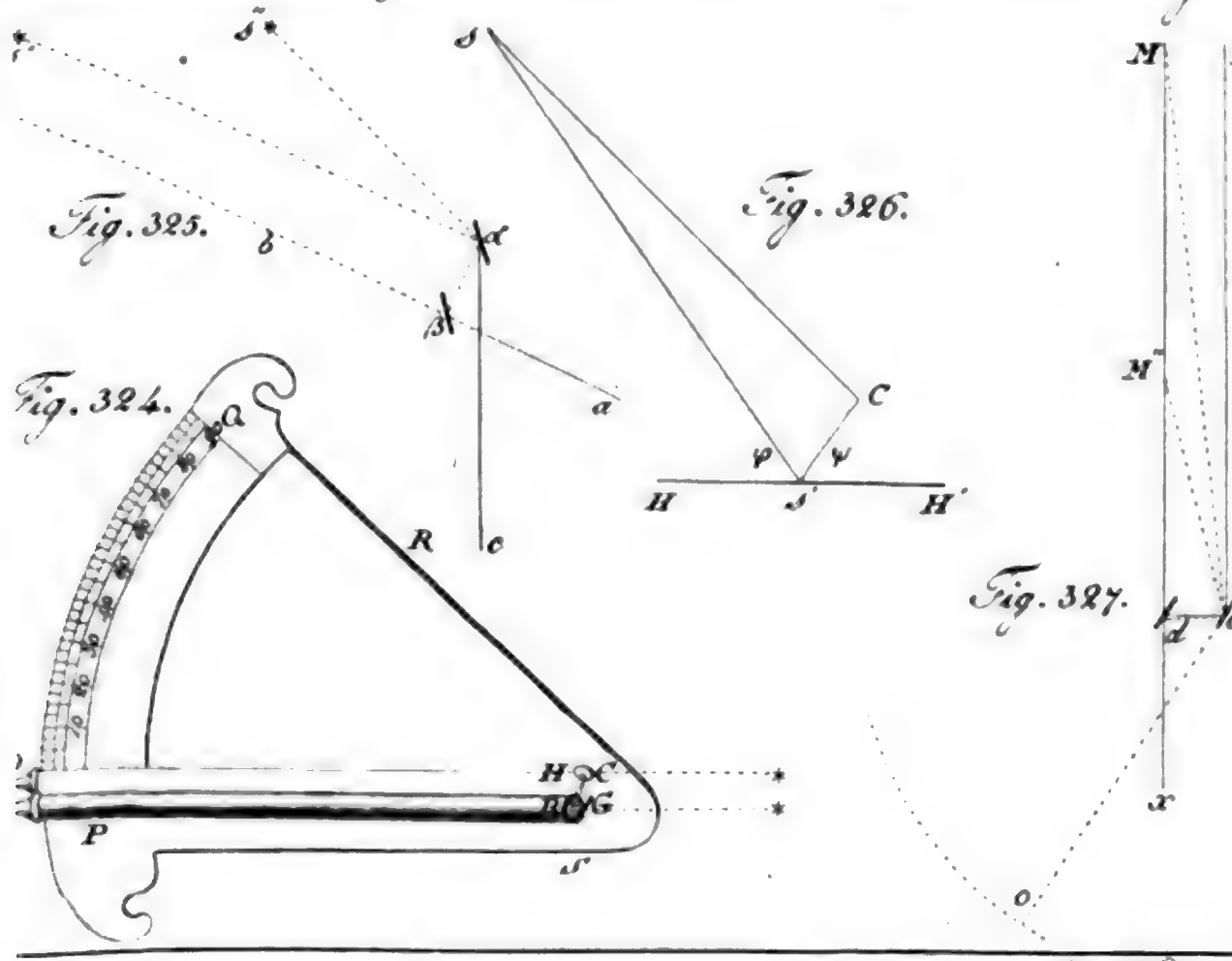


Fig. 319.





Ant. Zarcher sc.

Digitized by Google

Fig. 328.

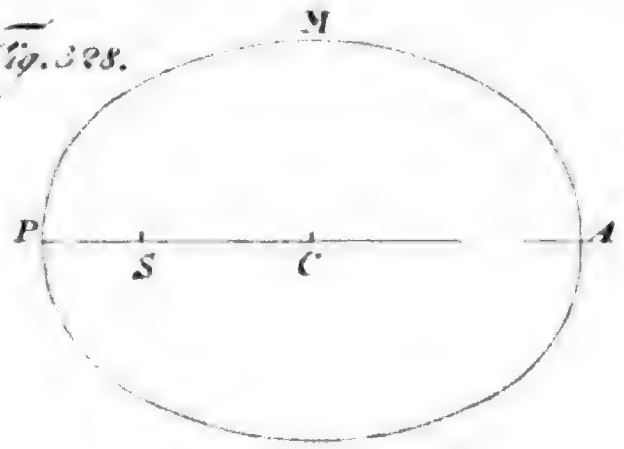


Fig. 329.

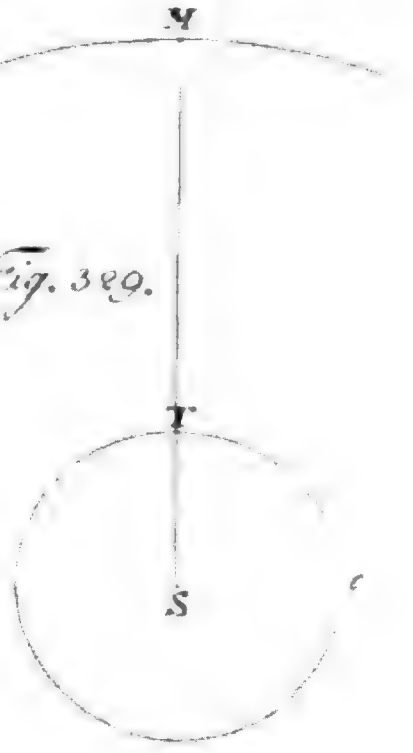


Fig. 331.

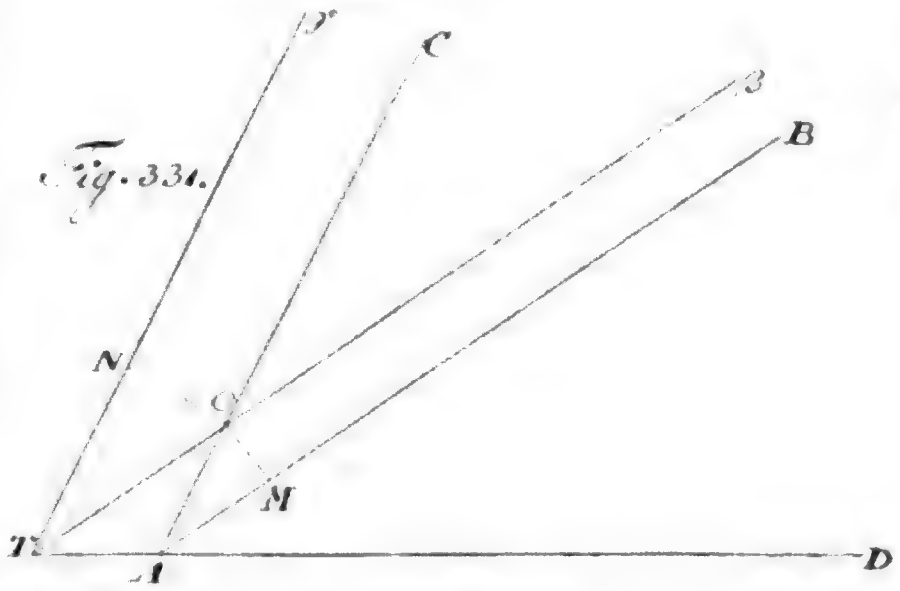
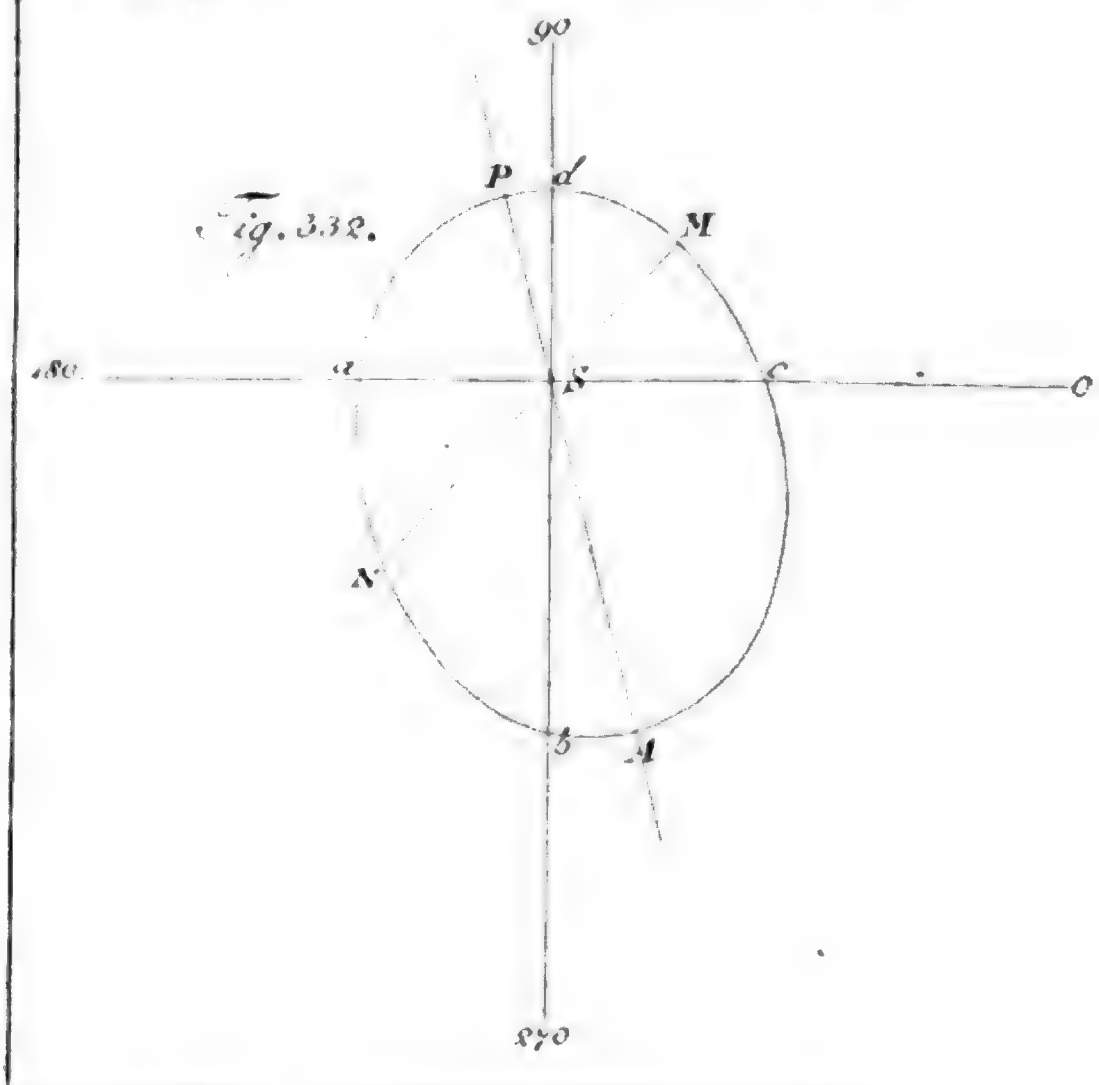
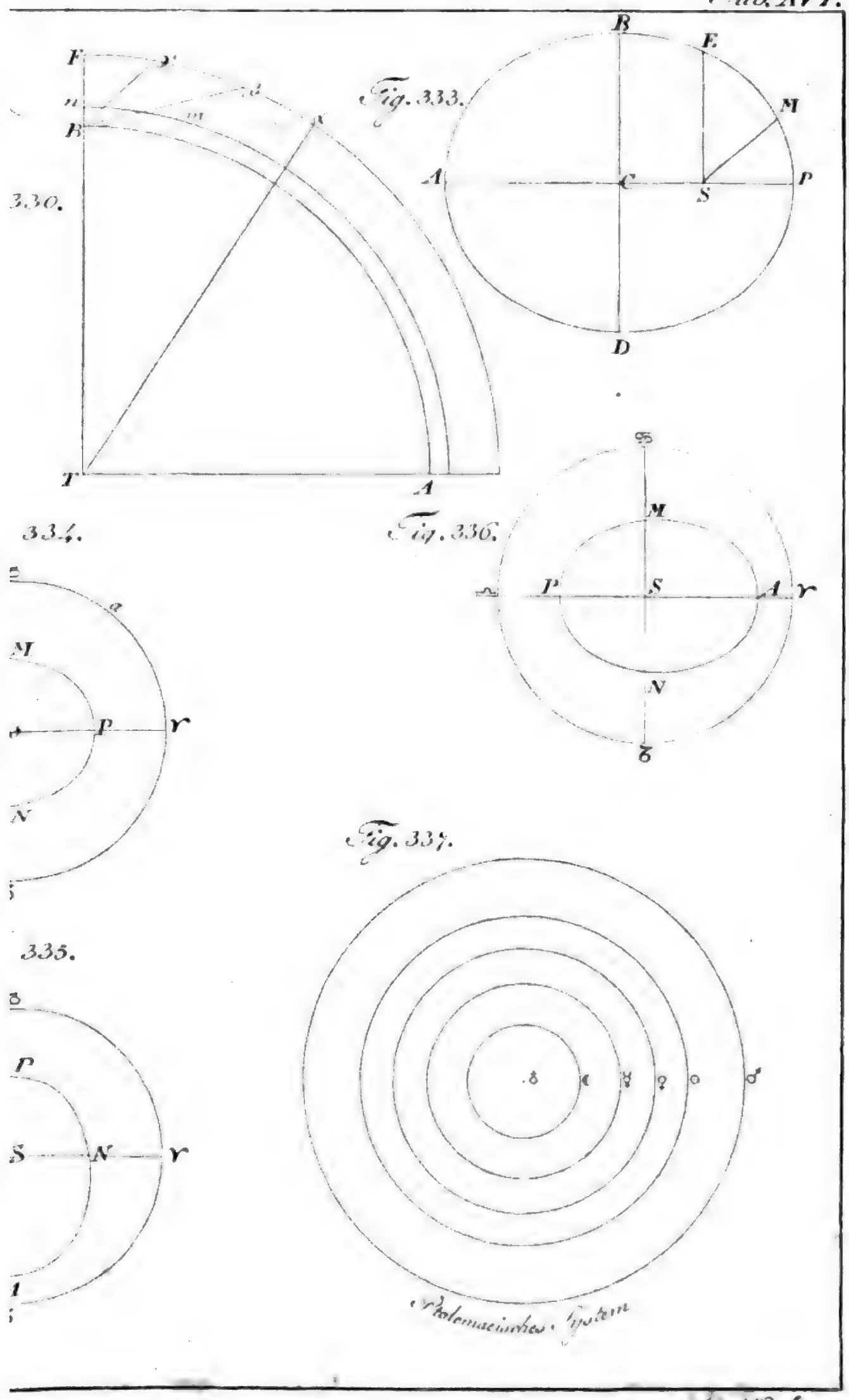


Fig. 332.



Seybert del.

Tab. XVI.

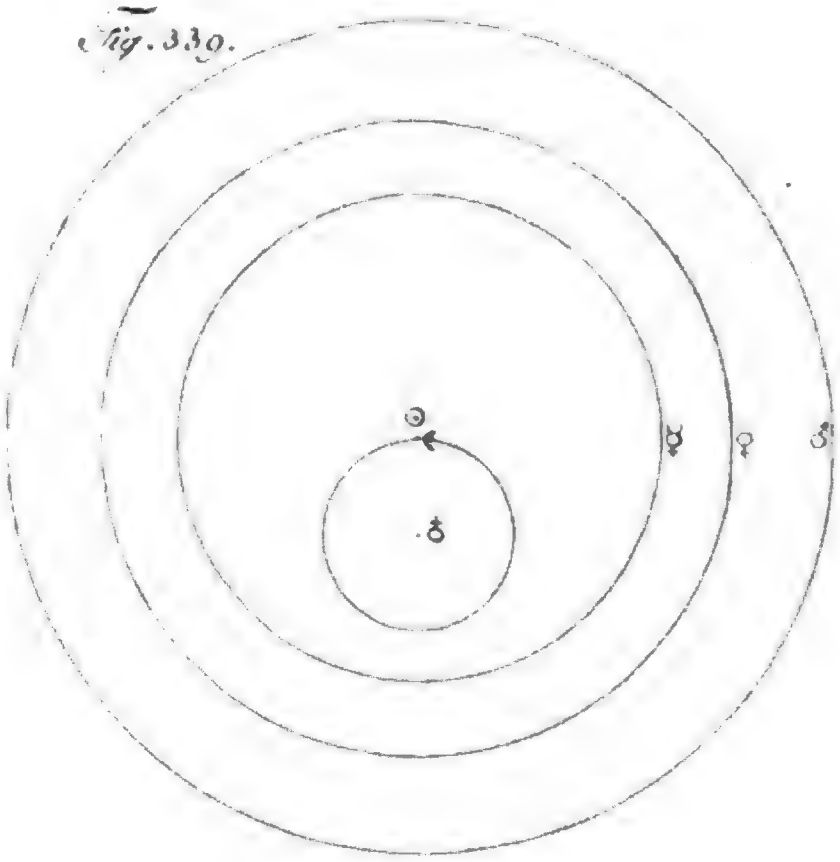


Ant. Karcher sc.

Digitized by Google

Bd. VIII.

Fig. 339.



Tychos System

Fig. 338.

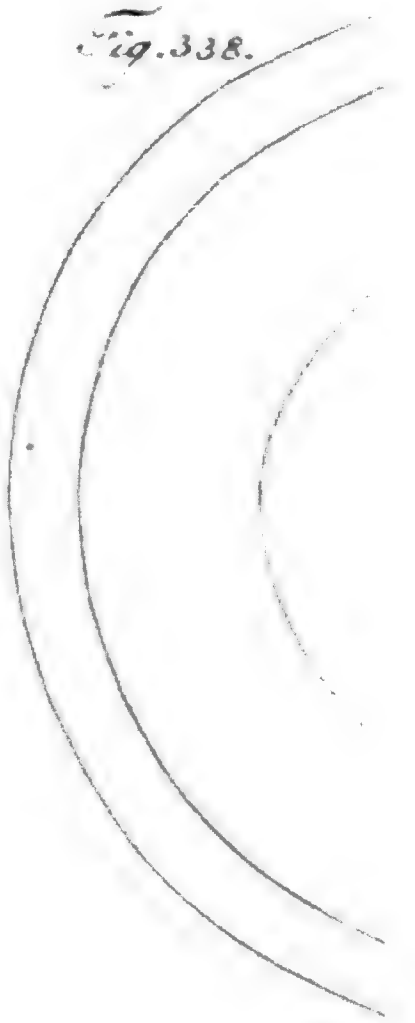
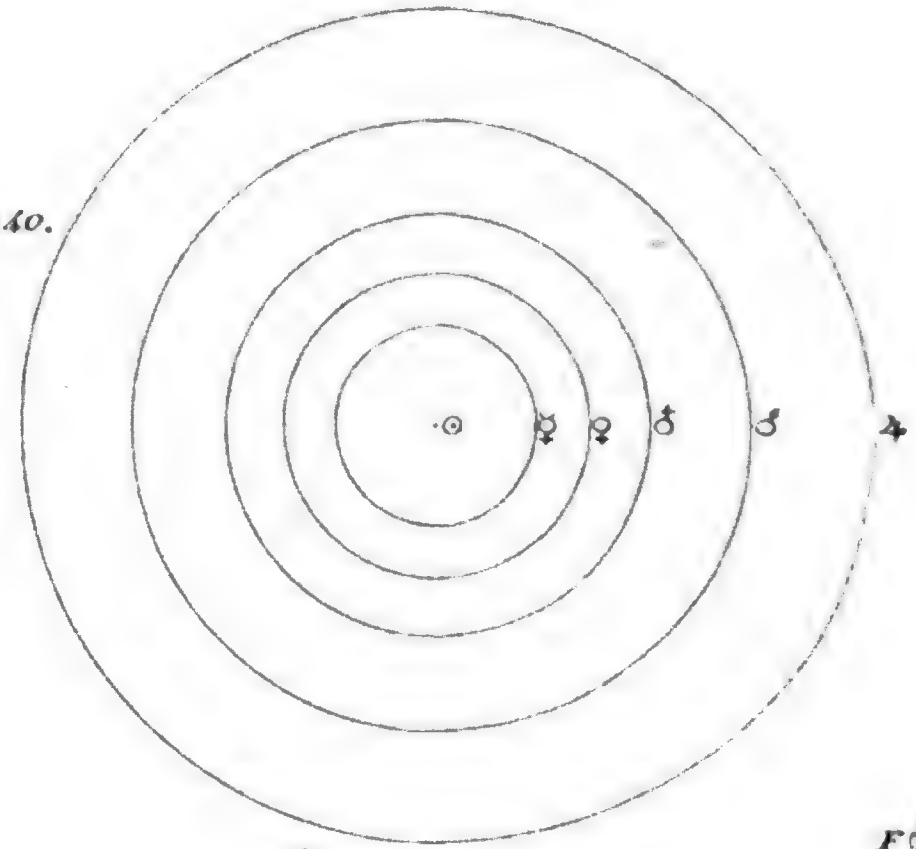


Fig. 340.



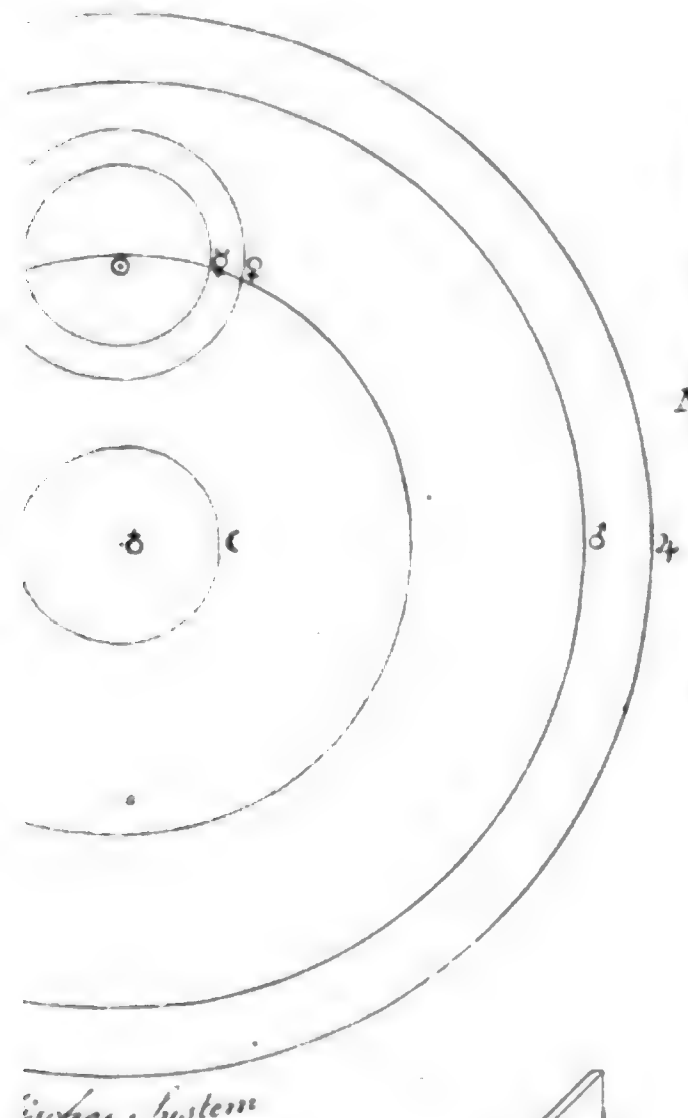
Copernicanisches System

F

Seybert del.

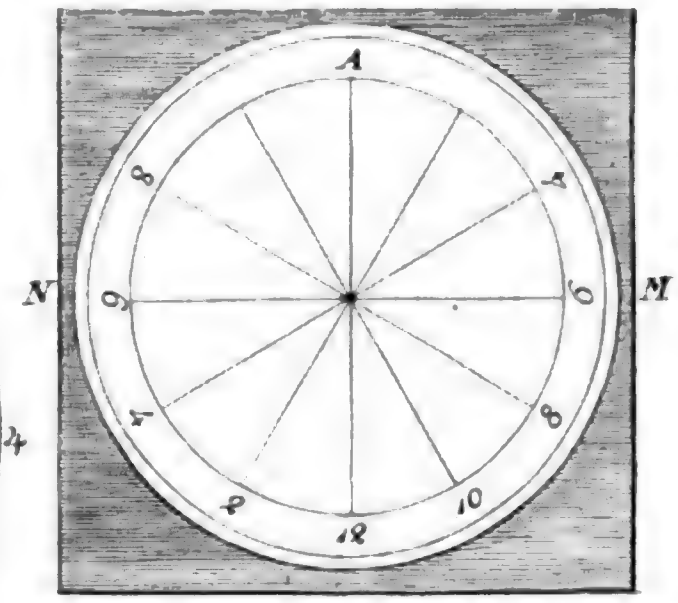
Digitized by Google

Tab. XVII.

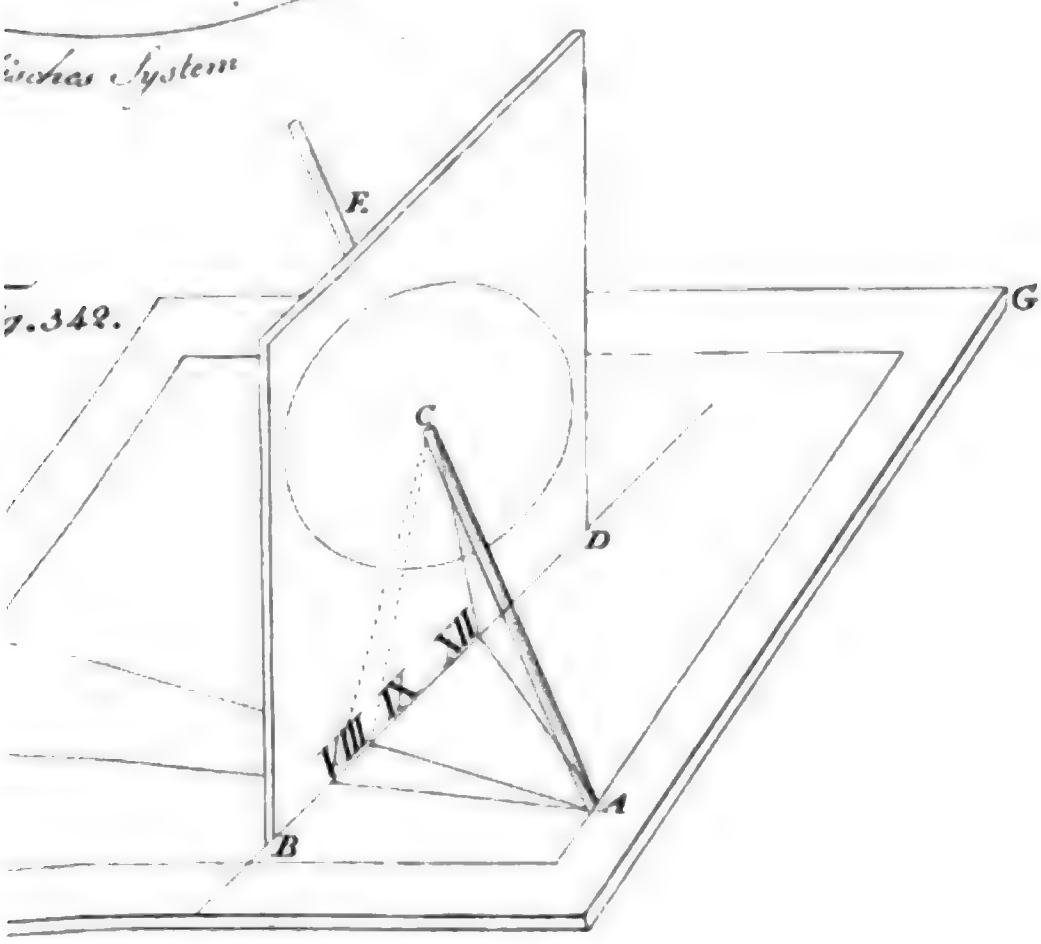


...ches System

Fig. 341.



...g. 342.



Ant. Karcher sc.

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 343.

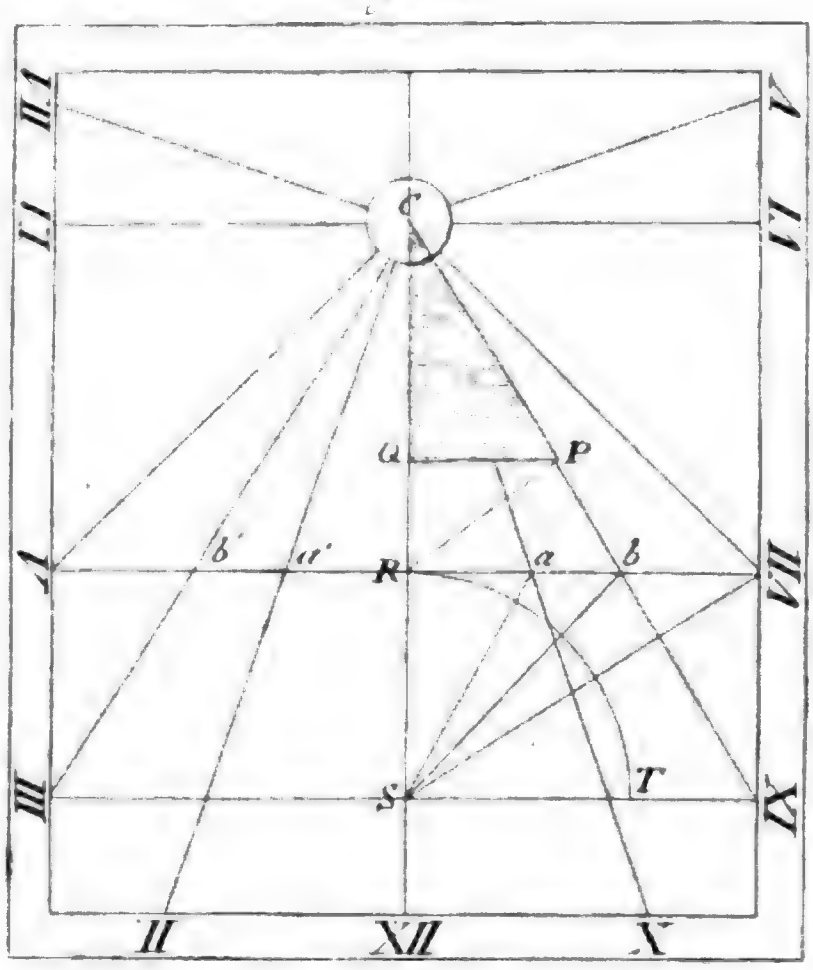
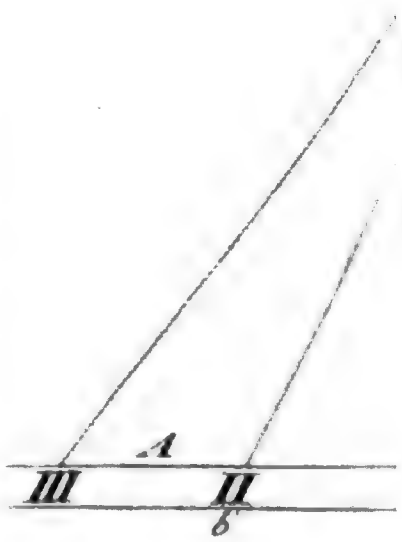


Fig. 3



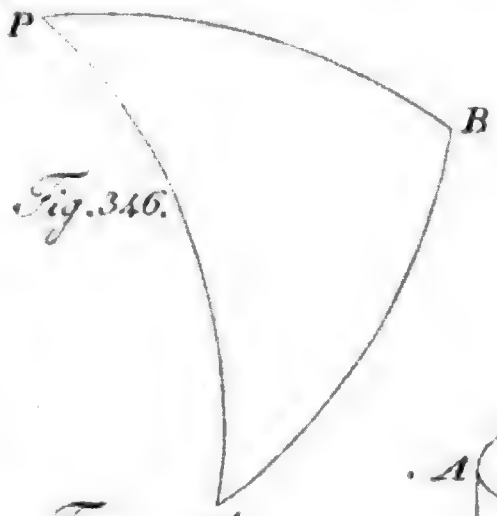


Fig. 346.

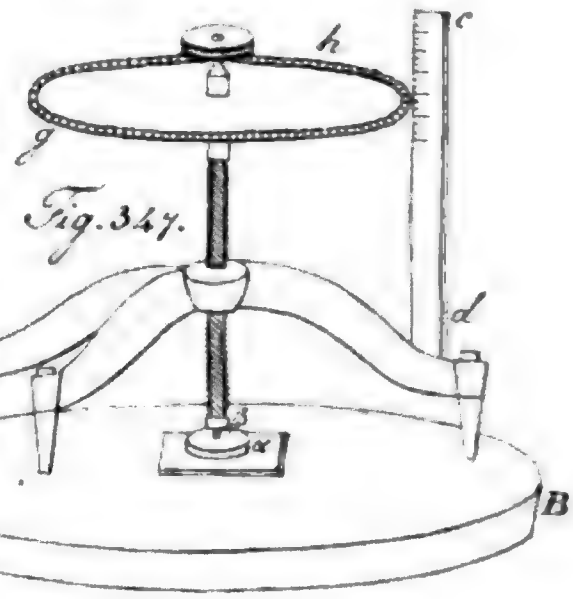


Fig. 347.

Fig. 349.

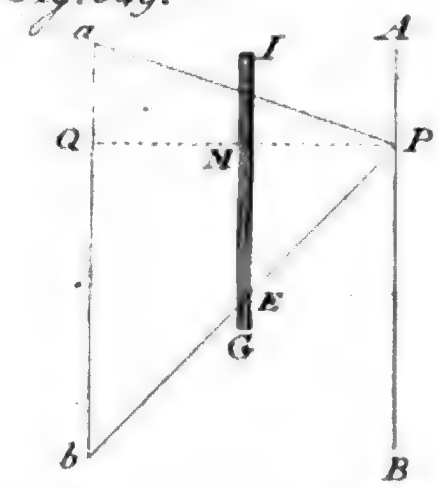


Fig. 350.

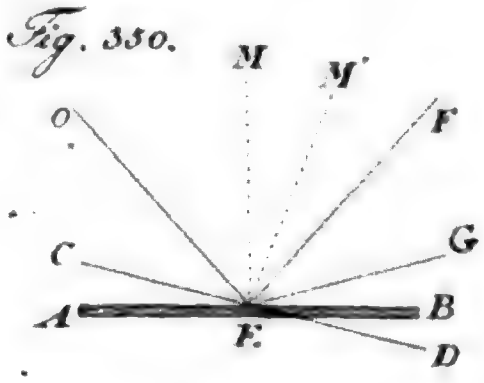
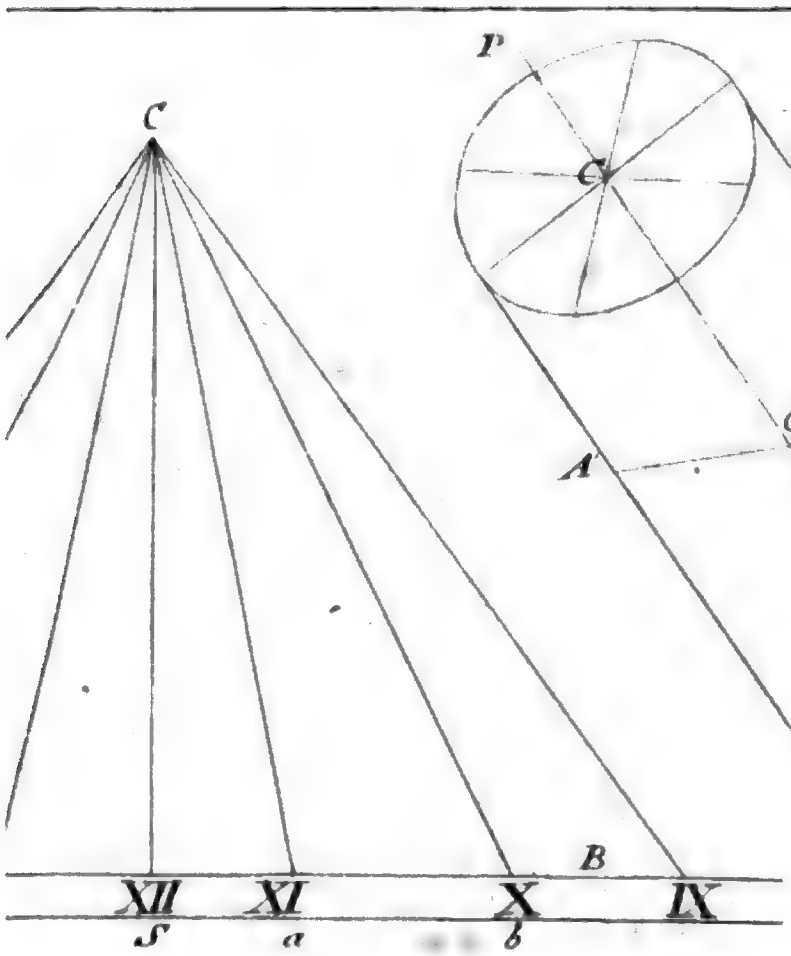


Fig.

H

Seybert del.

Digitized by Google



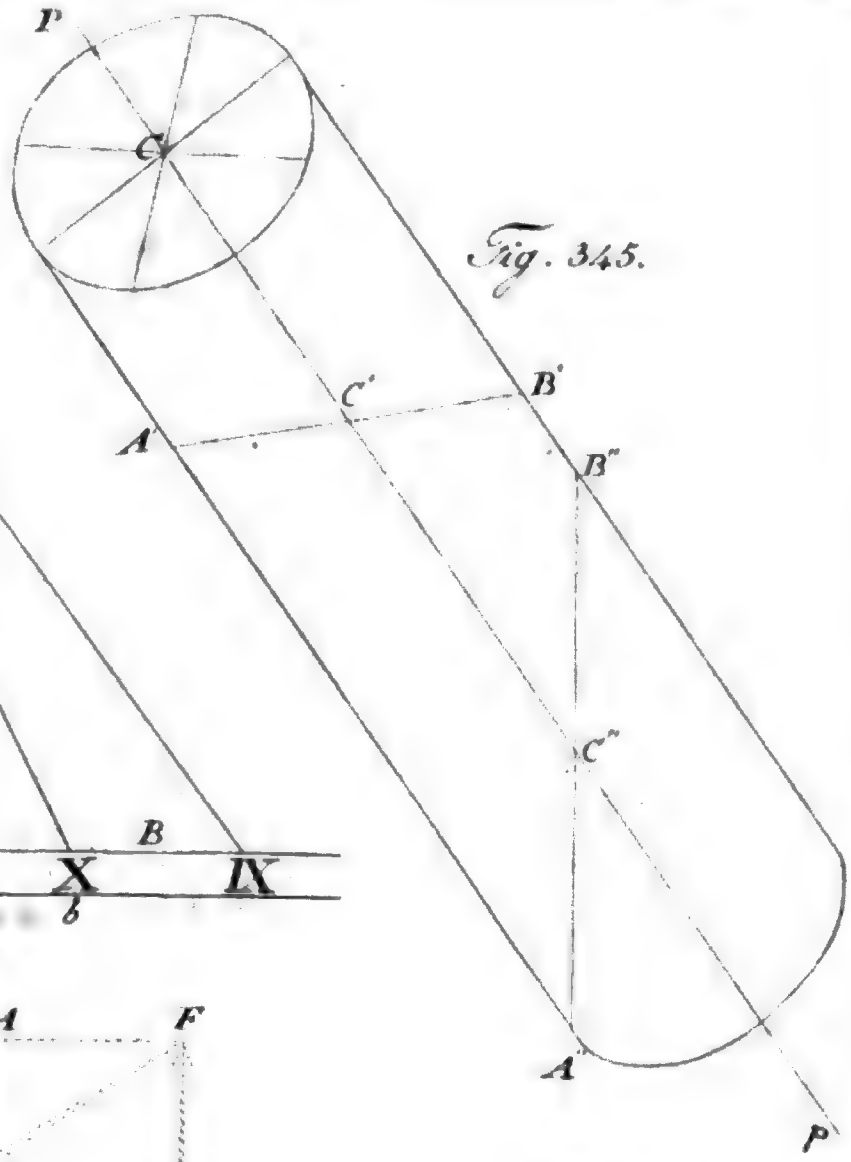


Fig. 345.

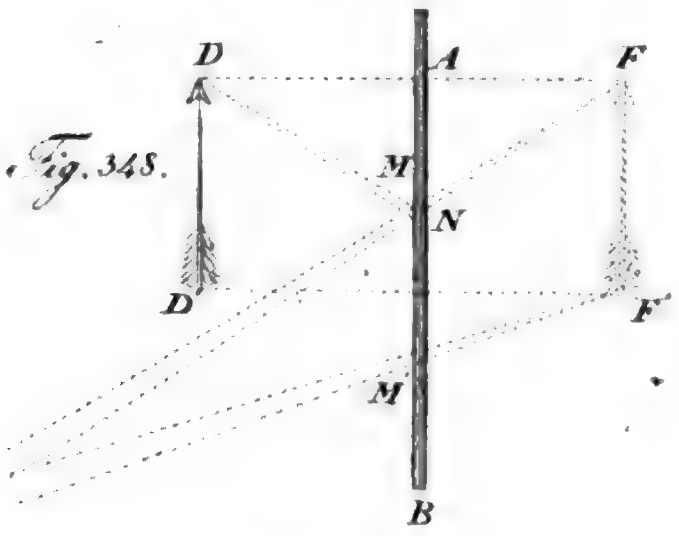
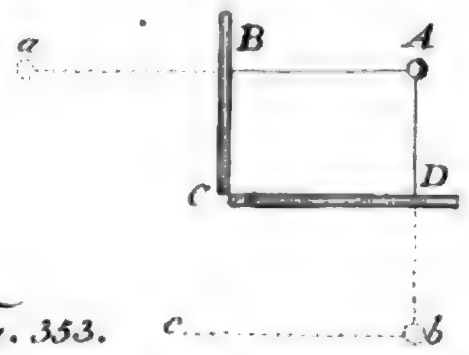


Fig. 348.

Fig. 352.



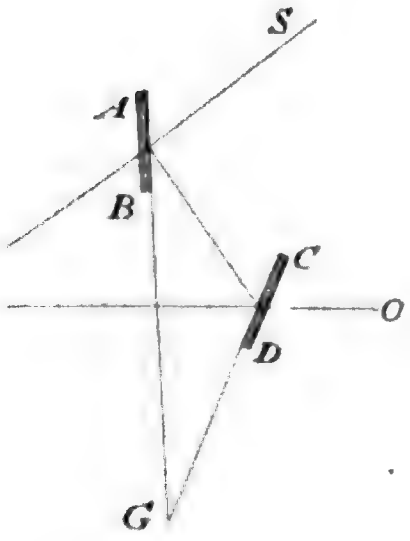
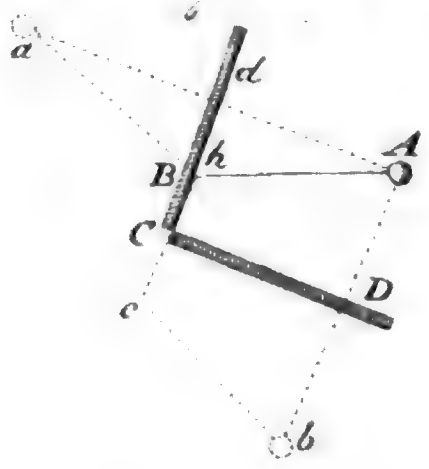


Fig. 353.



Ant. Kircher sc.

Digitized by Google

Fig. 354.

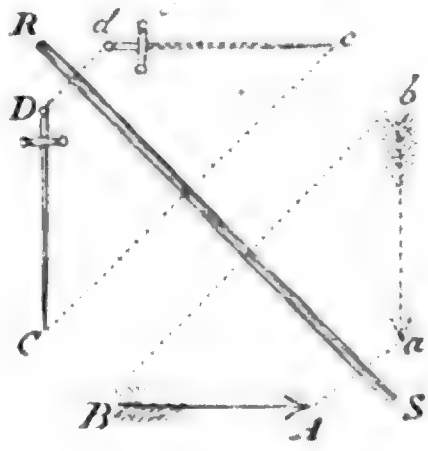


Fig. 355.

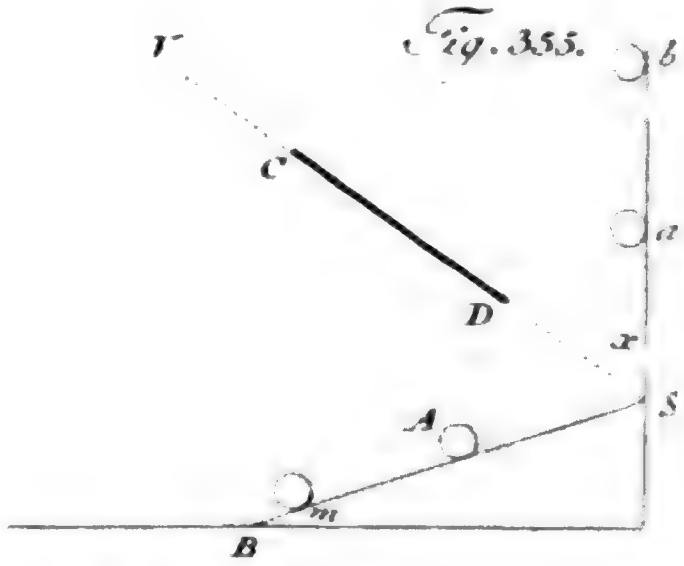


Fig. 358.

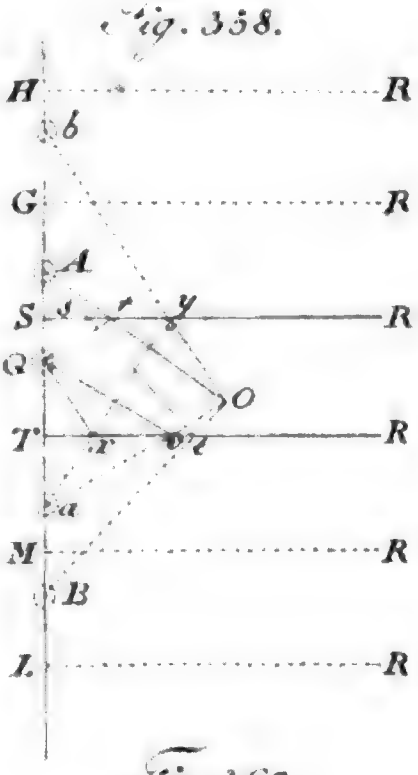


Fig. 361.

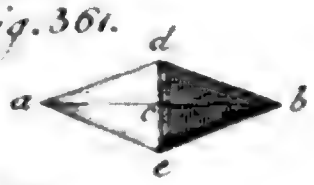


Fig. 359.

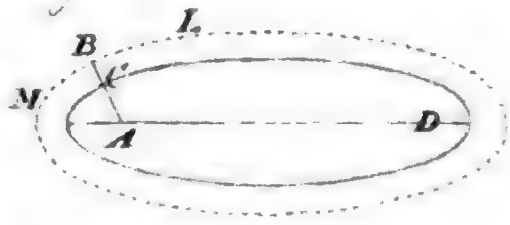


Fig. 360.

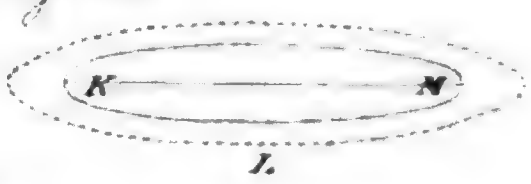


Fig. 362.

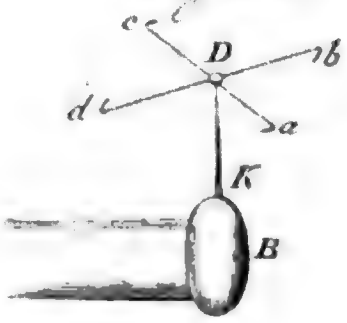


Fig. 363.

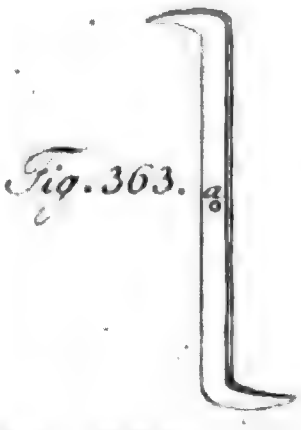
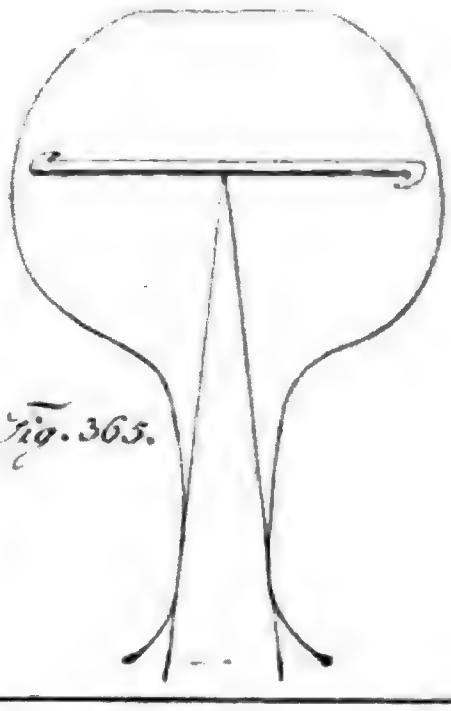
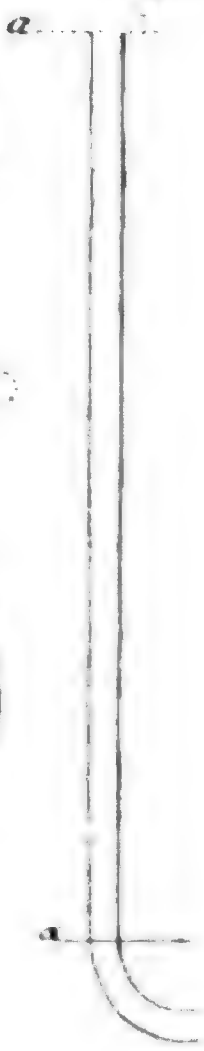


Fig. 364.

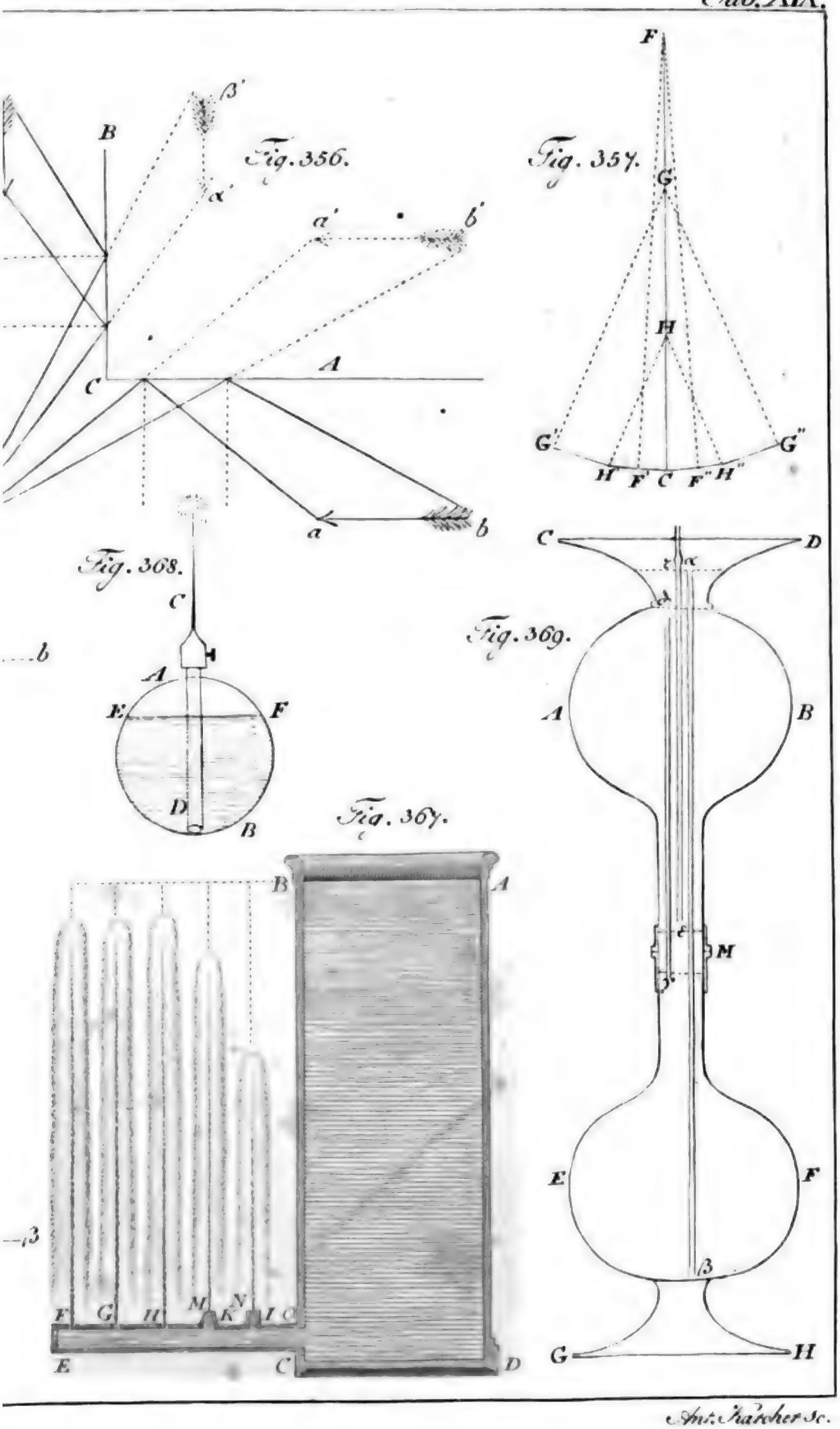
Fig. 365.





Jaubert del.

Digitized by Google



Ant. Karcher sc.

Digitized by Google

Fig. 370.

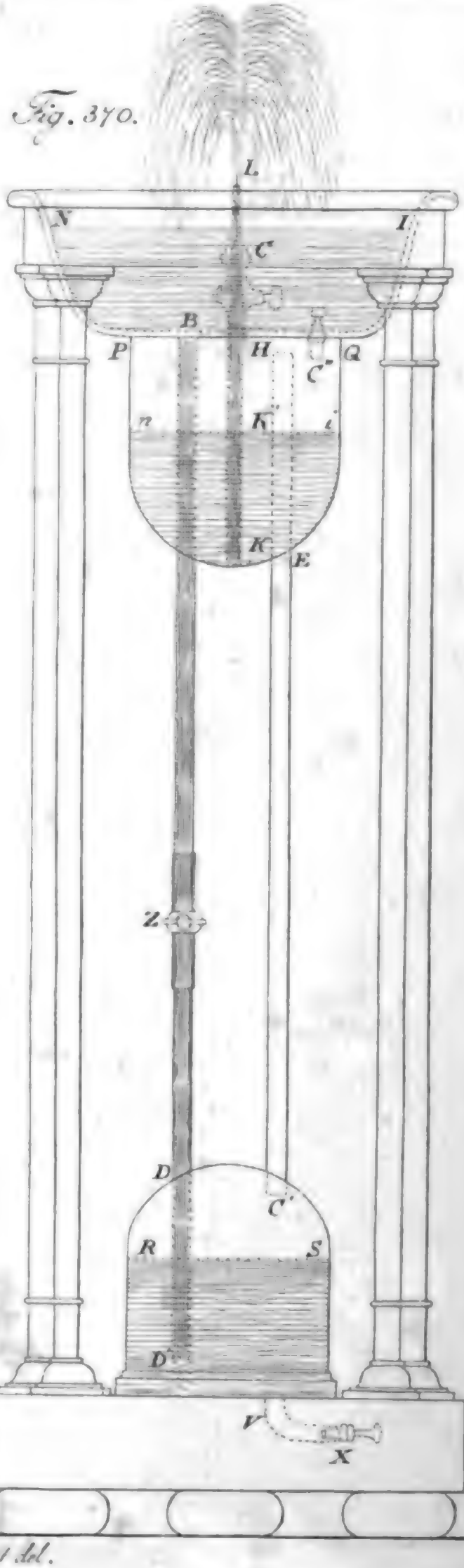


Fig. 371.

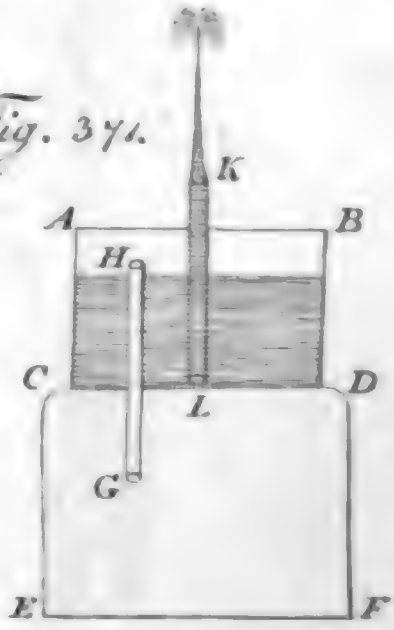
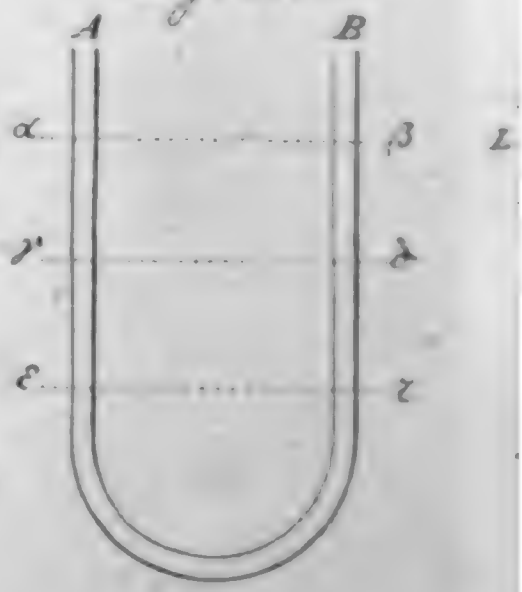


Fig. 372.

B

Fig. 373.



Seyfbert del.

Digitized by Google

374.

Fig. 375.

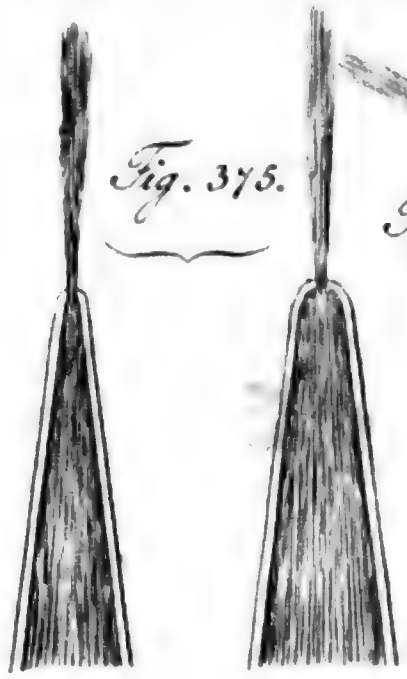


Fig. 376.

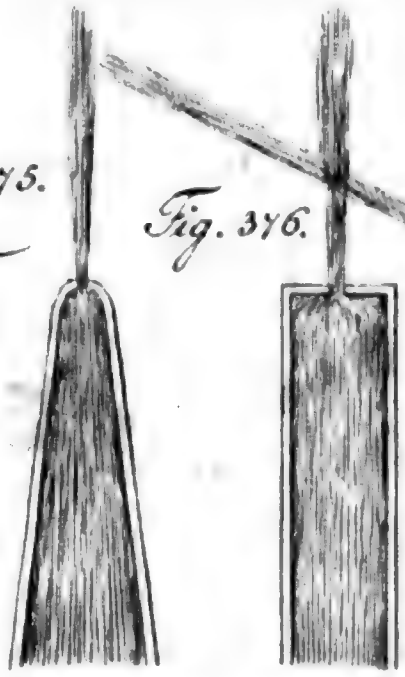


Fig. 377.

Fig. 379.

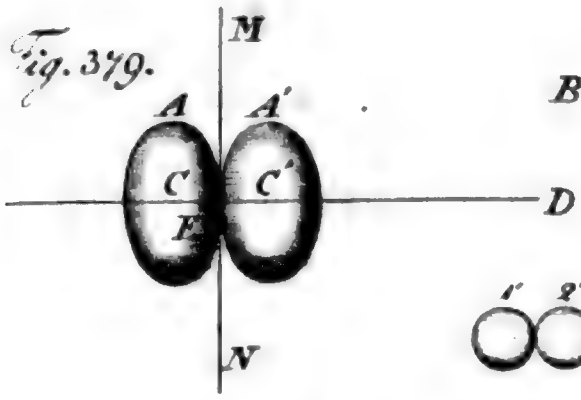


Fig. 378.

Fig. 380.

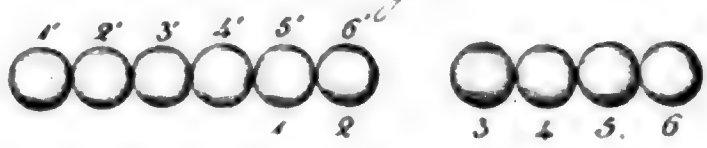


Fig. 381.

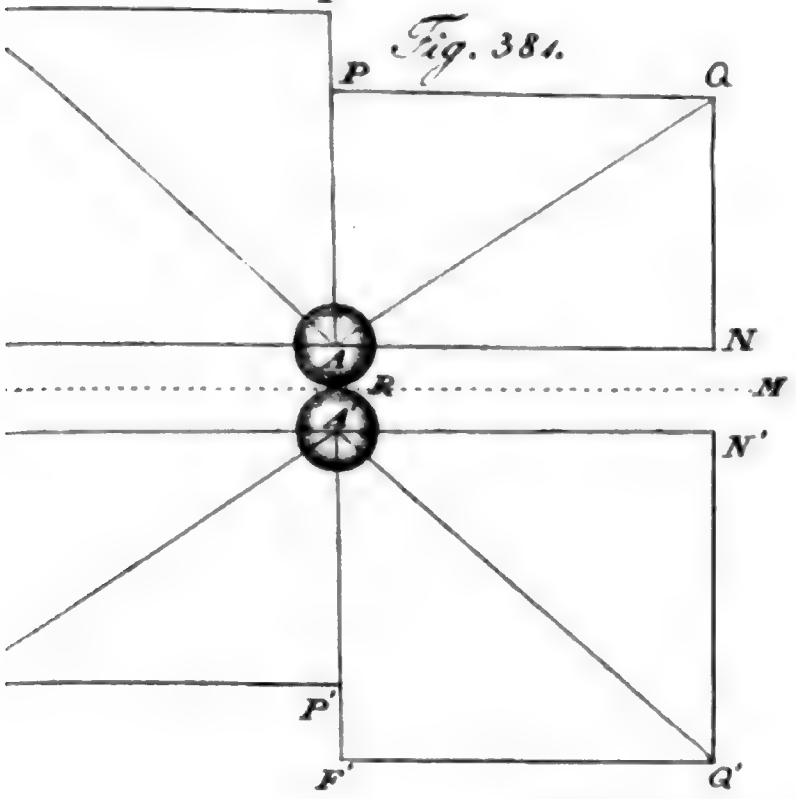
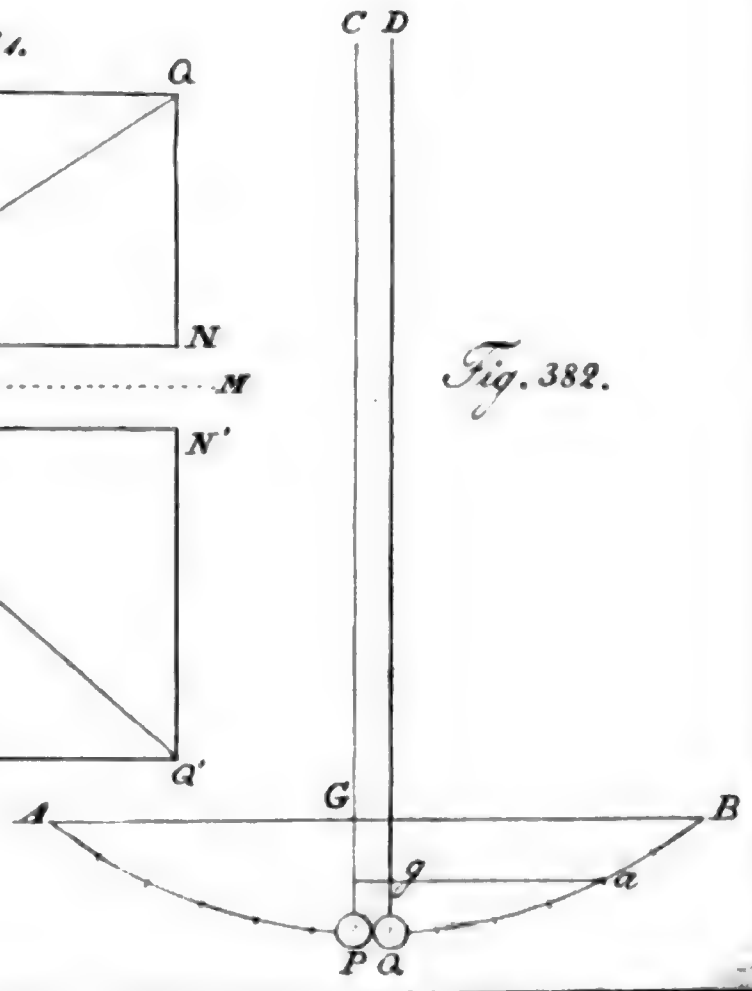


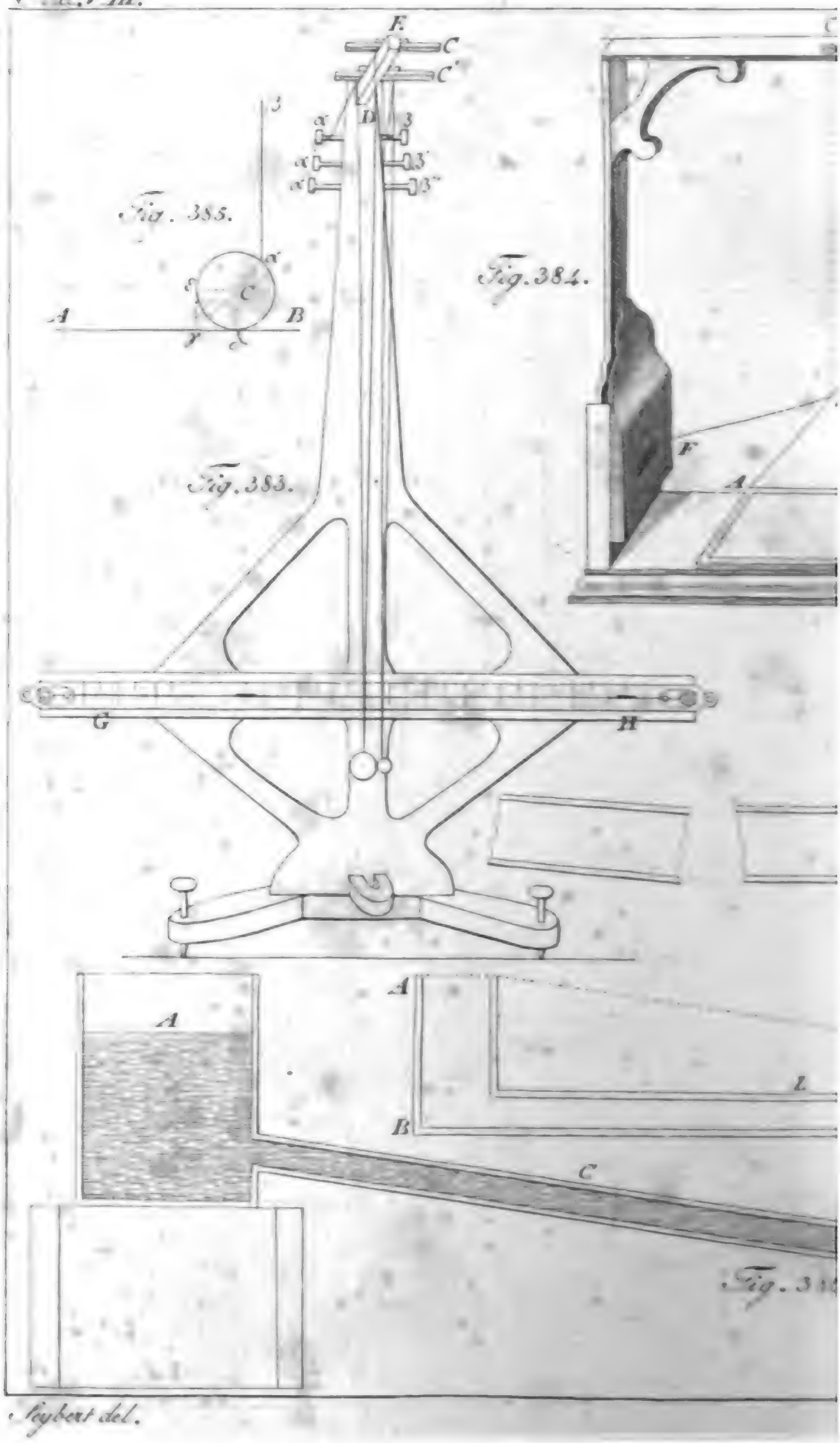
Fig. 382.



Ant. Karcher sc.

Digitized by Google

Bd. I III.



Seybert del.

Fig. 389.

Fig. 388.

Fig. 387.

Aug. Kircher sc.

Digitized by Google

Fig. 390.

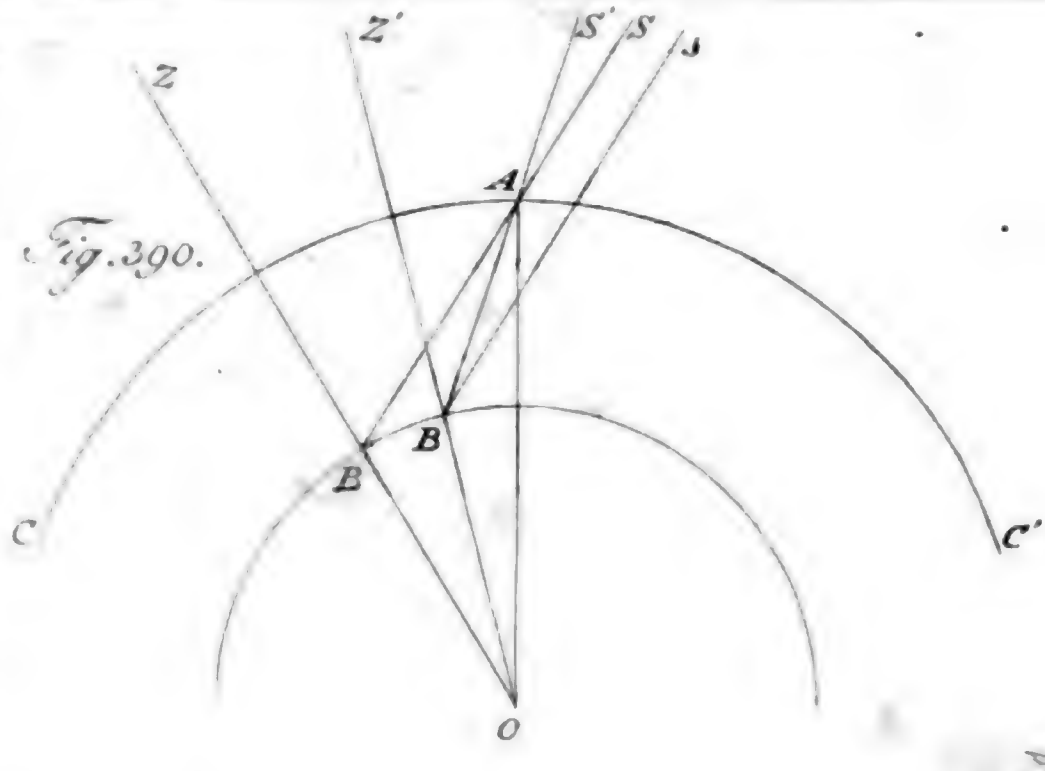


Fig. 3

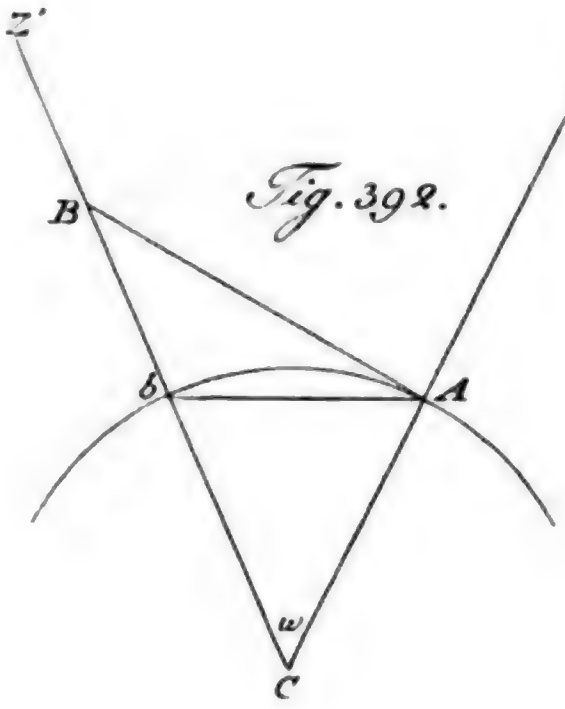


Fig. 392.

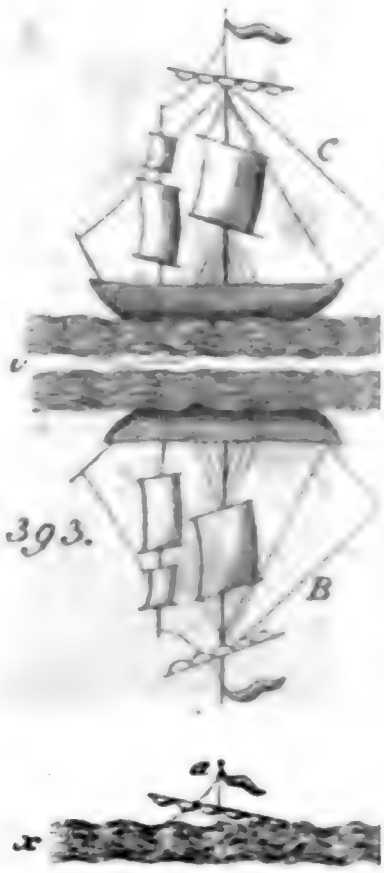


Fig. 393.

Fig. 395.

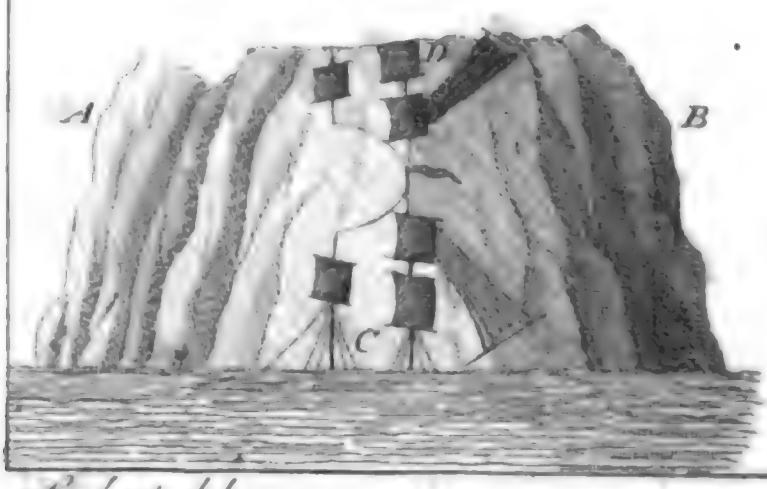
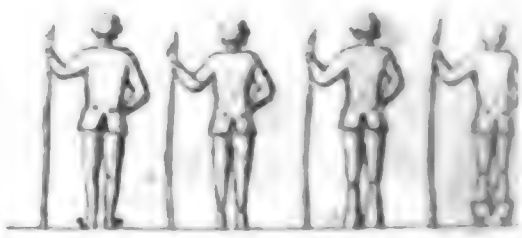


Fig. 399.



Seybert del.

Digitized by Google

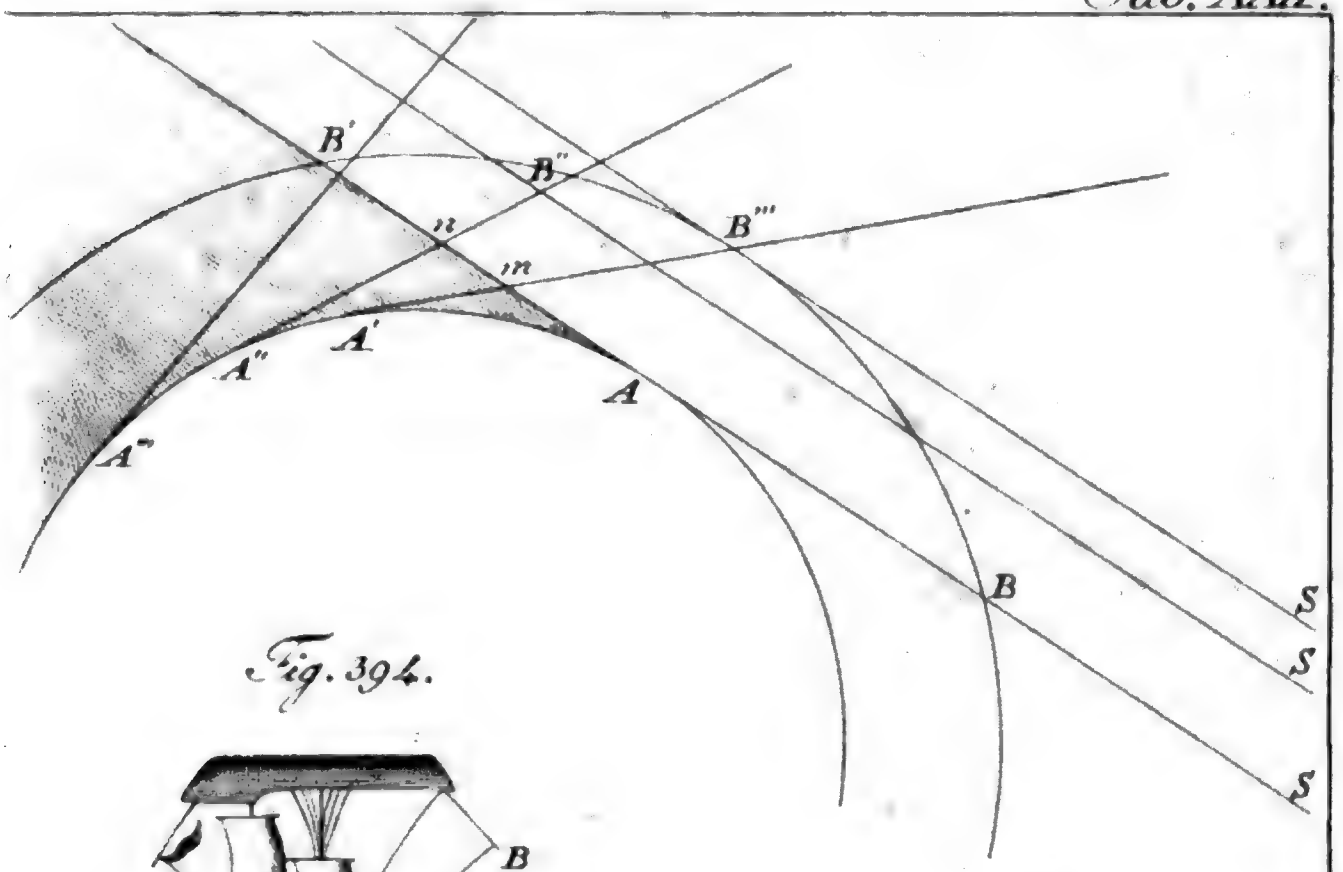


Fig. 394.

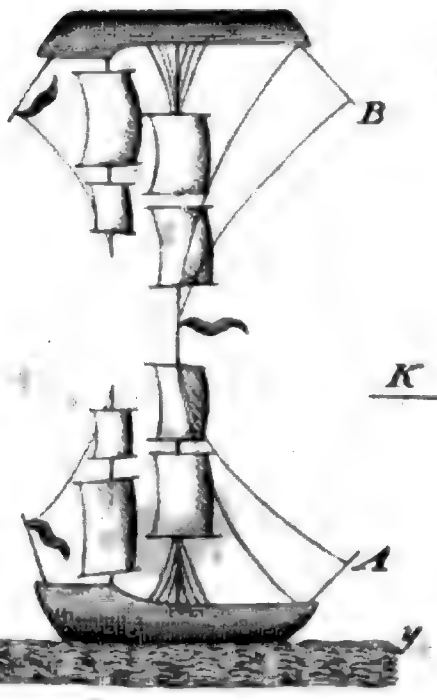


Fig. 396.

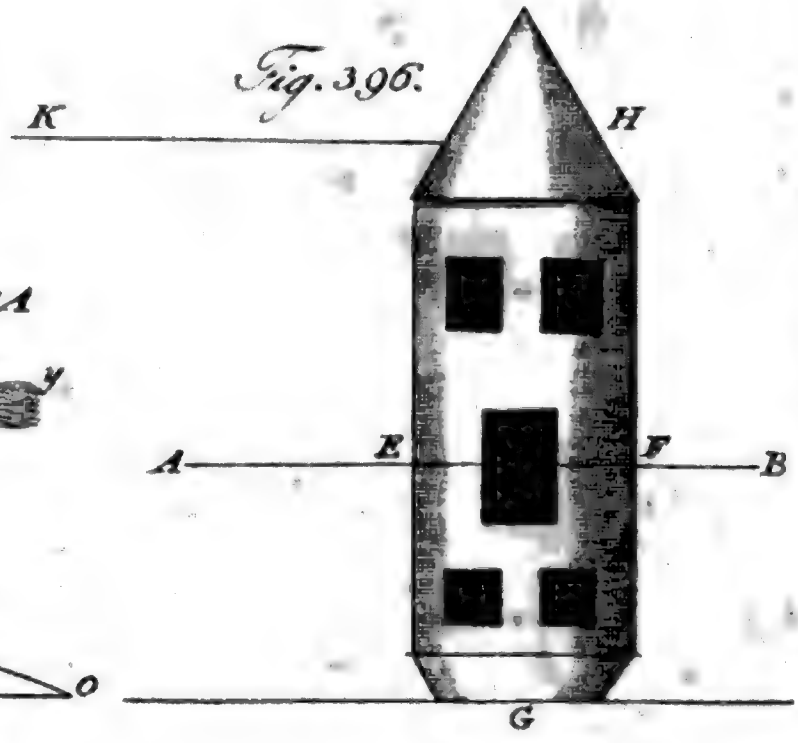


Fig. 397.

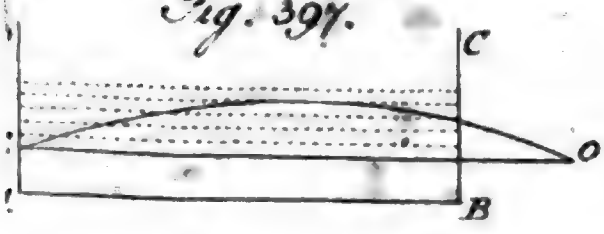


Fig. 398.

Ant. Kircher sc.

Digitized

Digitized by Google

Bd. VIII.

Fig. 400.

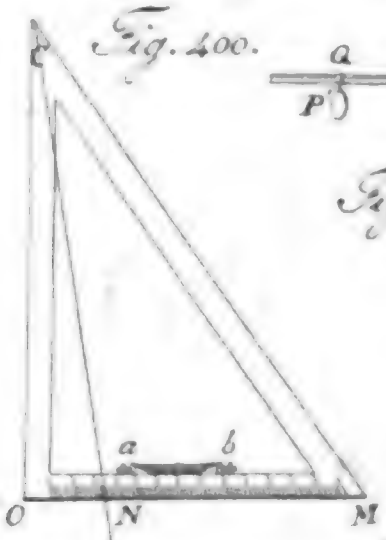


Fig. 401.

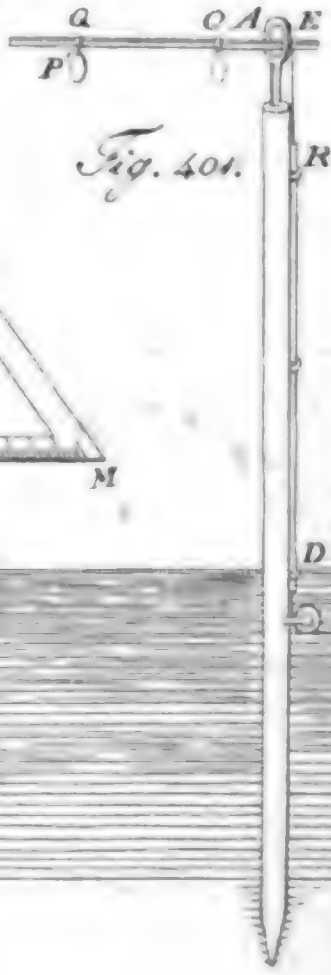


Fig. 402.

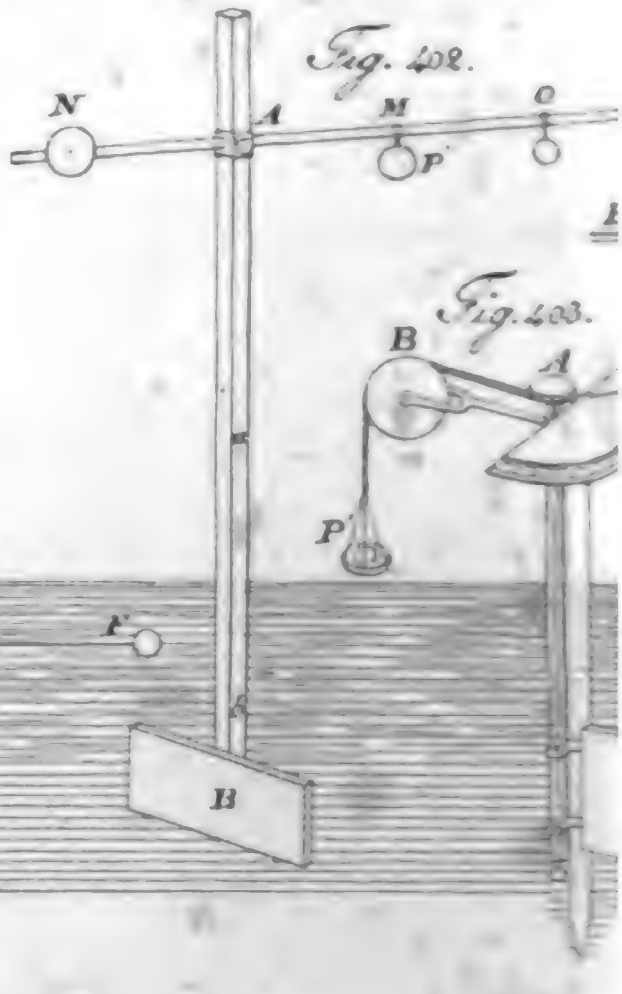


Fig. 403.

Fig. 407.

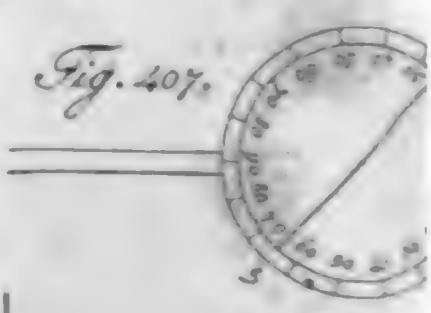
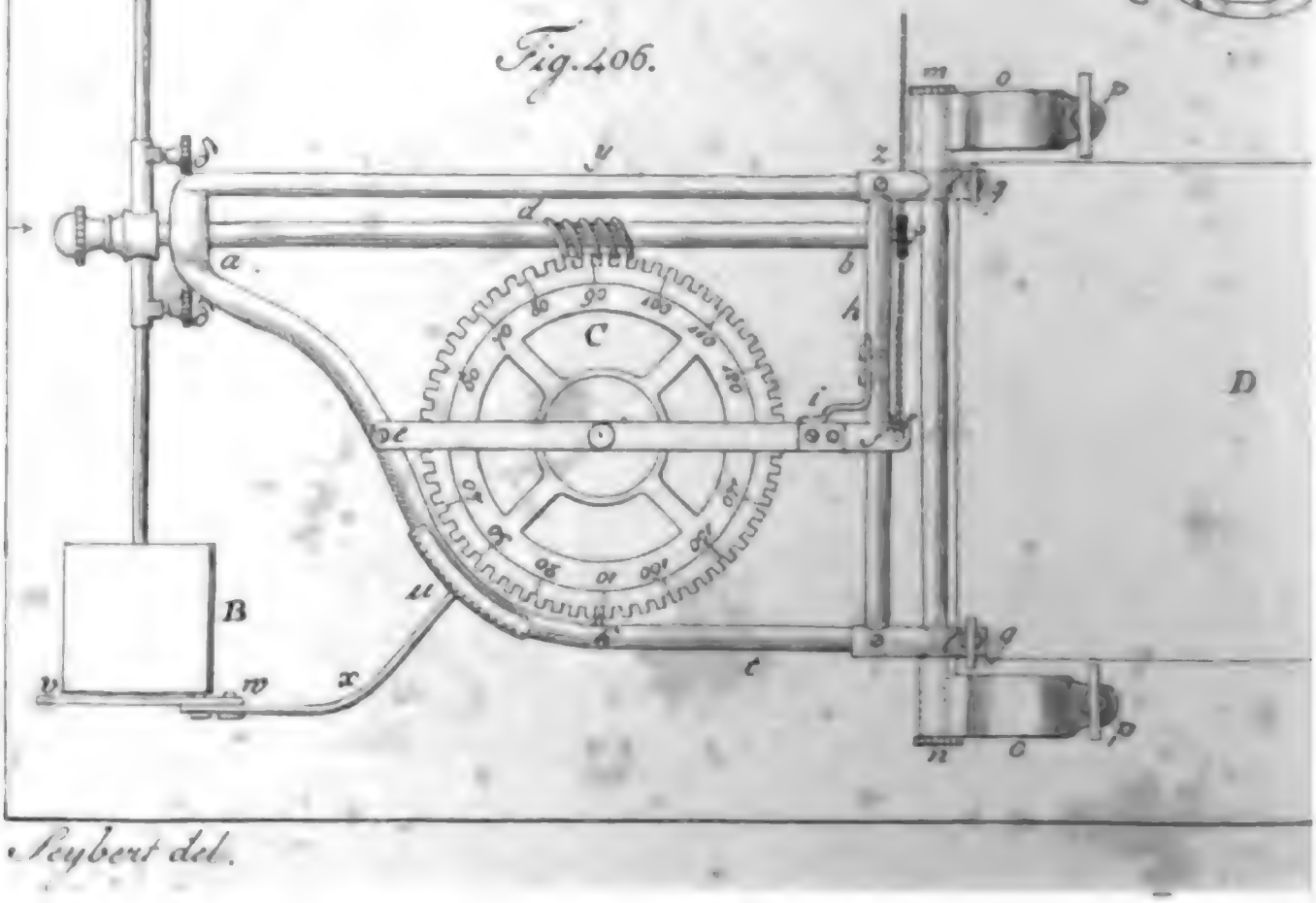


Fig. 406.



Seybert del.

Fig. 404.

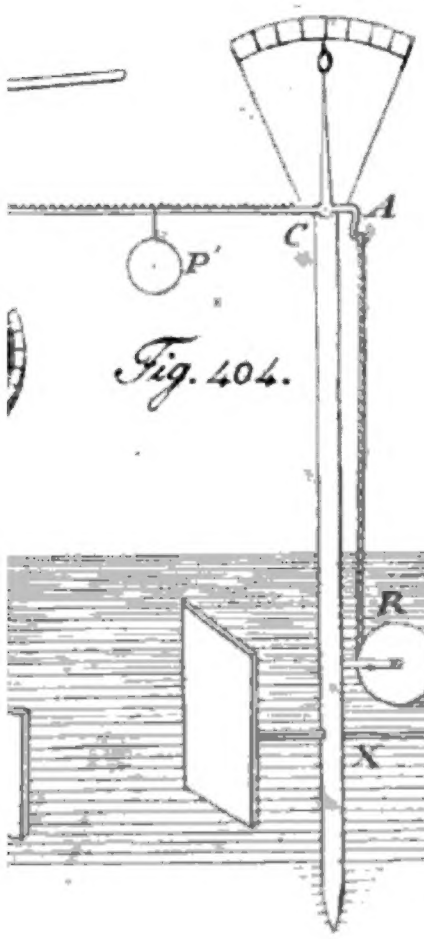


Fig. 405.

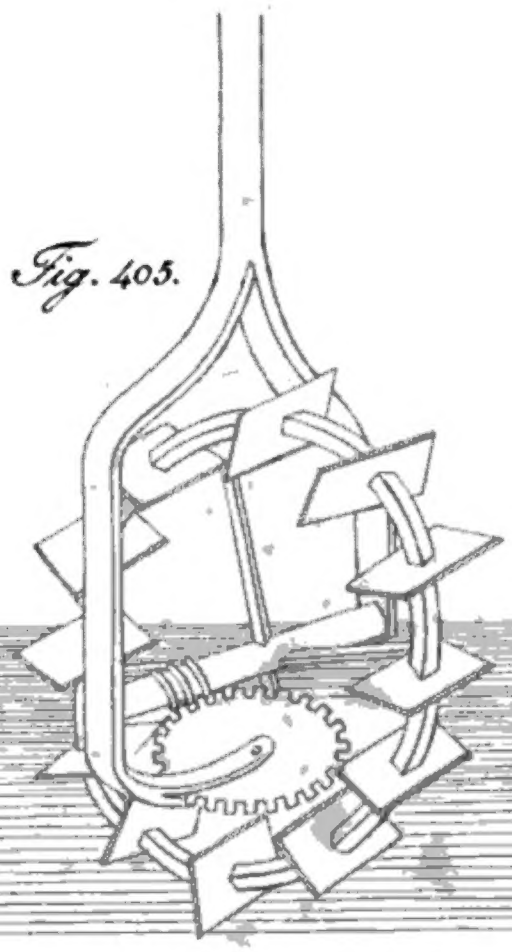


Fig. 408.

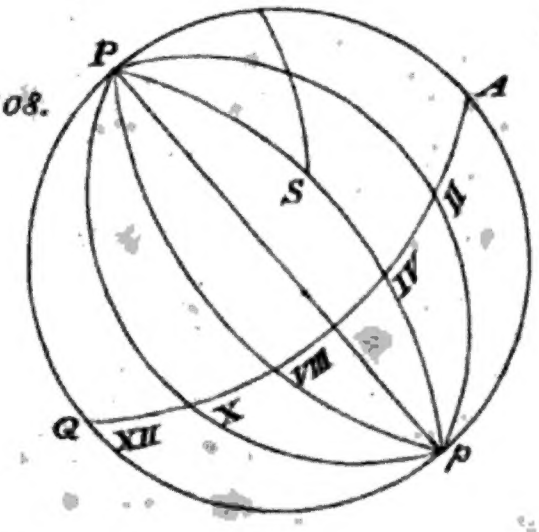


Fig. 409.

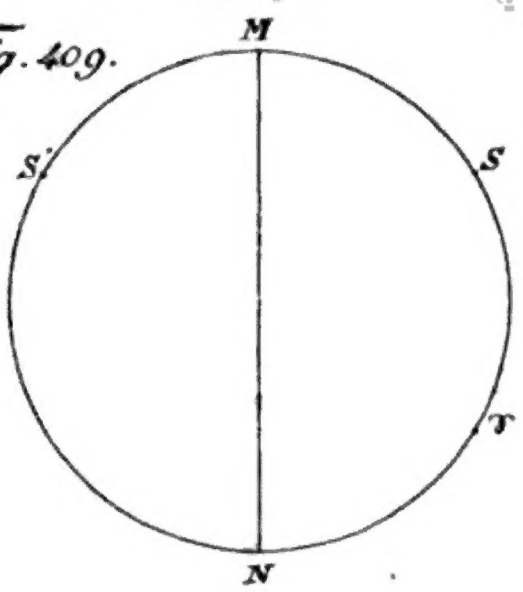


Fig. 410.

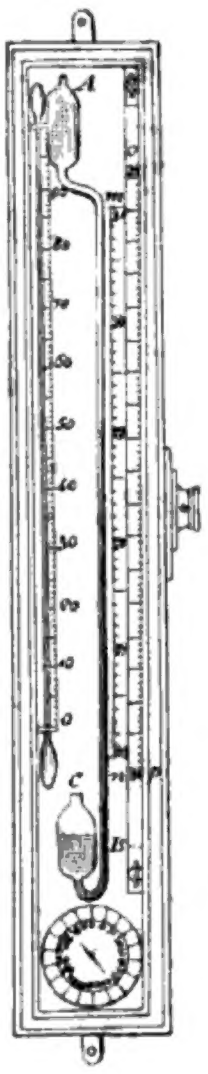
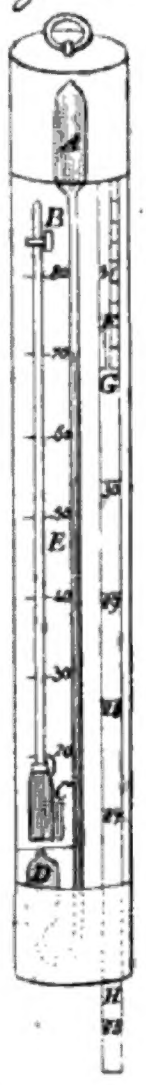


Fig. 411.



Ant. Karcher sc.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google